



Aalto-yliopisto
Kemian tekniikan
korkeakoulu

Kemian tekniikan korkeakoulu
Kemian tekniikan koulutusohjelma

Eero Sääski

Painehiokkeen laadun hallinta taivekartongin valmistuksessa

**Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-
insinöörin tutkintoa varten Espoossa 8.10.2016**

Valvoja

Professori Pekka Oinas

Ohjaajat

Diplomi-insinööri Jorma Kemppainen
Tekniikan tohtori Golam Sarwar

Tekijä Eero Sääski

Työn nimi Painehiokkeen laadun hallinta taivekartongin valmistuksessa

Laitos Biotekniikan ja kemian tekniikan laitos

Professuuri Tehdassuunnittelu

Professuurikoodi KE-107

Työn valvoja Professori Pekka Oinas

Työn ohjaaja(t)/Työn tarkastaja(t) DI Jorma Kemppainen, TkT Golam Sarwar

Päivämäärä 8.10.2016

Sivumäärä 153+16

Kieli Suomi

Tiivistelmä

Tässä diplomityössä tutkittiin painehiokkeen valmistusprosessia ja sen laadun hallintaa taivekartongin valmistuksessa Stora Enson Anjalan Paperitehtaan hiomolla. Painehiokie muodostaa taivekartongin runko-kerroksen, joten sillä on suuri vaikutus itse taivekartongin lujuusominaisuuksiin. Erityisen haastavaa painehiokkeen laadun hallinnasta tekevät prosessin vaihteluherkkyys, vuotuiset vaihtelut raaka-aineen jääty-misen ja kuivumisen muodossa sekä tavoite alentaa energian kulutusta. Työn tavoitteena oli tunnistaa kar-tonkihiokieprosessista (H4 osahiomalinja) kriittisimmät prosessisuureet ja tutkia mahdollisuuksia vähentää laadussa tapahtuvia vaihteluita. Kriittisimmiksi prosessisuureiksi osoittautuivat ulkolämpötila, hiokkeen CSF-arvo (freeness) sekä kuidutukseen käytettävä energia niin hiomakoneilla kuin rejektijauhimilla.

Kokeellisessa osassa tutustuttiin H4 osahiomalinjan prosessikokonaisuuteen ja koeajojen suunnittelua var-ten perehdyttiin prosessidatan avulla ja prosessioperaattoreita haastatteleamalla nykytoimintatapaan kar-tonkihiokkeen valmistuksessa sekä tutkittiin yhden vuoden ajalta ongelmallisimpia ajankohtia laadun kan-nalta. Koeajot kohdistuivat kivenalusmassoihin ja niitä vastaaviin EOK-arvoihin, rejektilinjan akseptin laa-tuun, kokonaisrejektisuhteen muuttamiseen, rejektijauhimien teho-laatu korrelaatioihin, hiomakivien kä-sittelyyn sekä poikkeuksellisten ajotilanteiden aiheuttamiin laadun vaihteluihin.

Tässä diplomityössä havaittiin, että rejektilinjan kapasiteetti on huipussaan, joka puolestaan estää laadun hallinnan rejektisuhteen muuttamisella. Painehiokkeen laatu muodostuu vahvasti kivenalusmassasta, jon-ka laadun seuranta varten tutkittiin korrelaatiota hiomakoneen EOK-arvon ja laskennallisen kivenalus-massan välillä. Korrelaation pohjalta laadittiin kivikäsittelyn valvontasivu prosessinohjausjärjestelmään. Tätä tukemaan laadittiin kivikäsittelyaikataulu, joka ohjaa hiomakivien sorvausta ja rullateräystä. Poikke-ustilanteissa, kuten kahden hiomakiven tuotannolla, laatu laski selvästi. Tätä korjaamaan tehtiin ohjeistus tuotantonopeuksien korjaamisesta, joka puolestaan eliminoi laadun vaihtelun kokonaan poikkeustilanteen ajaksi. Työn aikana tehtyjen ajotapamuutosten tuloksena hiokkeen laadussa tapahtuvaa vaihtelua saatiin vähennettyä selvästi.

Tulosten perusteella tehtiin jatkotoimenpideohjeet prosessin laadun hallinnan helpottamiseksi sekä otet-tiin kantaa talviolosuhteisiin varautumisesta ja hiomakoneen EOK-hallinnan tuomista säästöistä.

Avainsanat PGW, mekaaninen massa, laadunhallinta, painehiokie, taivekartonki

Author Eero Sääski		
Title of thesis Pressurized groundwood pulp quality control in folding boxboard manufacturing		
Department Department of Biotechnology and Chemical Technology		
Professorship Plant Design		Code of professorship KE-107
Thesis supervisor Professor Pekka Oinas		
Thesis advisor(s) / Thesis examiner(s)		M.Sc.(Tech) Jorma Kemppainen, D.Sc.(Tech) Golam Sarwar
Date 8.10.2016	Number of pages 153+16	Language Finnish

Abstract

This is a study of pressurized ground wood pulp quality control at Stora Enso Anjala Mill PWG plant. PGW pulp is the base layer of folding boxboard, which makes it very important factor when considering FBB strength properties. PGW pulp quality control is challenging due to the fluctuating process, yearly changes in raw material (freezing and drying) and the need to lower process energy consumption. The aim of the study is to identify the critical process factors and find ways to minimize the quality fluctuations at the FBB PGW process line (H4). The most critical factors turned out to be the outdoor temperature, pulp freeness value (CSF) and the energy used for pulping at the grinders and reject refiners.

In the experimental part of this thesis the process complex was studied. For reference for the test runs the process data was analyzed and process operators interviewed to find out the current approach to quality control. One year of data was analyzed to find the most problematic time periods in quality control. The test runs were focused on correlation between pit pulp and grinder specific energy consumption (SEC), reject quality, total reject fraction change, correlation between power and pulp quality at the reject refiners, grinder stone treatment and quality fluctuations in abnormal process situations.

As a result of the test runs and data analysis, it was found that the reject line capacity is at its peak, which prevents the quality control through total reject fraction change. The quality of the PGW pulp is mostly based on pit pulp quality. To better control the pit pulp quality a correlation between calculated pit pulp CSF and grinder SEC was made and optimized for the production of FBB PGW pulp. Based on this correlation a control page was created in the process control software, DNA. This control page gives valuable information for grinder stone treatments. To support the software data, a schedule was made for the burring and sharpening of the grinder stone. In abnormal process situations, such as two grinder production, the PGW pulp quality was found to clearly decrease. Through data analysis it was found that this phenomenon can be reduced significantly by raising the production rate of the grinder ovens by 1 t/h. Some of the results of this study have already been taken into use and they have resulted in clear decrease in the pulp quality fluctuations.

Based on the results of this study, new operational guidelines were made to further develop the FBB PGW pulp quality control. This study also took on a stand on preparing the process for winter conditions and the potential economical savings resulted by grinder SEC management.

Keywords PGW, pressurized groundwood, pulp, mechanical pulp, folding boxboard

Alkusanat

Tämä diplomityö on tehty kevään ja kesän aikana 2016 Stora Enson Anjalan Paperitehtaan hiomolla. Kiitän ohjaajaani Jorma Kempista mielenkiintoisesta ja monipuolisesta aiheesta, sekä vastuun antamisesta tärkeän aiheen parissa. Reipas otteesi työn ohjaamiseen ja oma-aloitteisen työn tukeminen auttoi ehdottomasti työn tekemisessä. Sain työstä ehdotonta suuntaa tulevalle uralleni. Kiitän myös Aalto-yliopiston puolelta diplomityön valvojaa, professori Pekka Oinasta, sekä työn ohjaajaa Golam Sarwaria mielenkiinnosta perinteisestä tehdassuunnittelun aiheesta poikkeavan työn ohjaamisen parissa.

Suuri kiitos kuuluu myös Sirpa Välimäelle Stora Ensolla, joka oli äärimmäisen tärkeässä asemassa diplomityöpaikan löytämisessä. Hän oli myös työn mittaan kiinnostunut projektin etenemisestä, joka ehdottomasti lisäsi työntekoa. Diplomityön aiheen parissa tiiviisti työskentelivät myös Anjalan Paperitehtaan kuituosaston henkilökunta, joista kiitän mielenkiinnosta työtäni kohtaan Aki Aaltosta, Pasi Marinia ja Esa Mäkelää. Storaensolaisista kiitoksen ansaitsevat etenkin hiomon prosessioperaattorit ja massalaboratorion henkilökunta. Oli erittäin mukavaa huomata, kuinka pyyteettömästi apua sai sekä valvomoista, että laboratoriossa. Kuituosaston prosessioperaattoreita kiitän myös mahtavasta kesästä kuituosaston vuoromestarina.

Maaseutuseikkailuissani ja työssäni sain paljon tukea ja apua myös kotipuolelta Espoosta. Suurkiitos jaksamisesta tyttöystävälleni Sagalle sekä vanhemmilleni. Opiskeluajoistani ja teekkarielämästä Otaniemessä jäivät mahtavat ja ikuiset muistot. Kiitos teekkariystävät, Kemistikilta ja Prosessiteknillinen kerho teekkarielämän ja opintojen piristämisestä. Alamäkirullalautailu on ollut minulle kaiken muun ohessa vahva osa elämääni - Helsinki Putt Squad stay stoked!

Inkeröisissä 22.9.2016

Eero Sääski

Sisällysluettelo

1. Johdanto	3
1.1. Työn tausta ja tavoite	3
1.2. Työn suoritus	4
KIRJALLISUUSOSA.....	5
2. Raaka-aineet	5
2.1. Puun rakenne	5
2.2. Kuidut.....	6
2.2.1. Selluloosa	8
2.2.2. Hemiselluloosa.....	9
2.2.3. Ligniini	9
2.2.4. Uuteaineet	11
3. Mekaaninen massa	11
4. Painehiokeprosessi ja rejektin käsittely.....	12
4.1. Hiontaprosessi	13
4.2. Rejektinkäsittely.....	22
5. Massaominaisuudet.....	24
5.1. Canadian Standard Freeness (CSF)	24
5.2. Kiintotiheys ja bulkki	25
5.3. Repäisy- ja vetolujuus	26
5.4. Palstautumisljuus.....	27
5.5. Kuitujakauma	27
6. Laatuun vaikuttavat tekijät	29
6.1. Raaka-aineen vaikutuksen laatuun	29
6.1.1. Puun kuivatuoretiheys	30
6.1.2. Puun kosteuspitoisuus	30
6.1.3. Kuidun pituus ja leveys raakapuussa	31
6.1.4. Vuodenaikavaihtelu	31
6.2. Prosessin muuttujat	33

6.2.1. Hiomakone.....	33
6.2.2. Hiomakivi	36
6.2.2.1. Teräys	37
6.2.2.2. Suihkuvesiteräys	37
6.2.2.3. Rullateräys	38
6.2.3. Rejektin käsittely.....	40
7. Painehiokkeen laadunhallinta.....	42
7.1. Raaka-aine.....	42
7.2. Hiontaprosessi	42
7.2.1. Hiomakoneen prosessisuureet	42
7.2.1.1. Kuormitussäädöt.....	43
7.2.1.2. Hiomakiven säädöt	43
7.2.1.3. Hionnan ajomalli	49
7.2.3. Painelajittimen säädöt	51
7.2.4. Rejektin jauhatuksen prosessisuureet.....	52
8. Yhteenveto kirjallisuudesta	55
SOVELTAVA OSA	58
9. Kokeellisen osan johdanto	58
10. Prosessikuvaus	58
10.1. H4 osahiontalinja	58
10.2. Massatase osahiomalinjalle H4	60
11. Nykytoimintatapa hiokkeen valmistuksessa	64
11.1. Prosessin asetukset.....	64
11.2. Nykyinen ajotapa	65
11.2.1. Prosessin suorituskyky	66
11.2.2. Hiomakivi ja sen käsittely	68
12. Vaihtelut laadussa vuoden aikana	69
12.1. Vuodenaikavaihtelut datassa.....	70
12.2. Hiontaprosessissa tapahtuva vaihtelu	72
12.3. Vuorokohtaiset vaihtelut prosessissa	74
13. Hiokemassan laadunvalvonta	78

13.1. Prosessin mittauspisteet.....	78
13.2. Havaintoja nykytilanteen laadunhallinnasta	79
13.2.1. Teräystaajuus ja kiven käsittely	80
13.2.2. Painelajittimien asetukset	83
14. Painehiokkeen laatu ennen koeajojen aloittamista	84
14.1. Valmiin massan laatuominaisuudet.....	84
14.2. Rejektin käsittelyn aksepti	85
14.3. Kivenalusmassojen laatu.....	88
14.4. Valmiin massan CSF:n muodostuminen	95
14.5. Hiokkeen laatuvaatimusten tarkastelu	98
15. Hiontaprosessin ajomallin kehittäminen	102
15.1. Koeajosuunnitelma	102
15.2. Laatumäärittäykset massalaboratoriossa	103
15.2.1. Tikkupitoisuuden määrittäminen	105
15.2.2. CSF-luvun määrittäminen	106
15.2.3. Veto- ja repäisylujuuden määrittäminen.....	107
15.3. Tuotantonopeuden tasaaminen kaikilla osahiomalinjan hiomakoneilla	110
15.4. Painehiontaprosessin stabilointi määrättyyn laatuun.....	113
15.4.1. Hiomakoneiden stabilointi.....	113
15.4.2. Rejektinlinjan akseptin stabilointi.....	117
15.4.3. Stabiloinnin tulokset	119
15.5. Hiomakiven vesikäsitteilyn vaikutus valmiin massan laatuun.....	122
15.6. R4 jauhatuksen tarkastelu ja kehittäminen	123
15.7. Rejektisuhteen vaikutus valmiin hiokkeen laatuominaisuuksiin	129
15.8. Prosessin laadullisen hallinnan kehittäminen	134
16. Kahden kiven ajotilanne ja laadun hallinta.....	136
17. Hiomakoneen EOK-hallinnan tuottama sähkön säästö	139
18. Varautuminen talviolosuhteisiin.....	141
19. Yhteenveto kokeellisesta osasta.....	142
20. Johtopäätökset ja jatkotoimenpide-ehdotukset	145
Lähdeluettelo	148

Liiteluettelo	154
---------------------	-----

Liite A	H4 osahiomalinjan prosessisuureita lämpötilan funktiona 04/15 - 02/16
Liite B	R4 rejektilinjan akseptin vetolujuusmittaukset
Liite C	Lämpötilakorjaustaulukko CSF-luvun määrittämisessä
Liite D	Osahiomalinjan H4 valmiin massan ja rejektilinjan akseptin CSF-kuvaajia
Liite E	Hiomakivien vesiteräyksien vaikutukset kesä- ja heinäkuussa 2016.
Liite F	H4 osahiomalinjan kiviäsittelykalenteri

Lyhenteet

CSF	Canadian Standard Freeness, freeness, jauhatuste (ml)
SGW/GW	Stone Groundwood, hioke
PGW	Pressurized Groundwood, painehioke
PGW-S	Super Pressurized Groundwood, suurpainehioke
EOK	Energian ominaiskulutus (kWh/t)
adt	Air-dried ton, tonnia ilmakeivattua tuotetta
SD	Single disc
d	Yhden kartonkiarkin paksuus (mm)
x	Massan osuus
Q	Tuotantonopeus hiomakoneella (t/h)
P	Moottorin teho (W)
e	Jauhatusintensiteetti jauhatuskua kohden (J/kg)
n	Jauhatuskujen lukumäärä
c	Massan sakeus (%)
k,h,a,b,K	Vakioita
r	Säde (m)
bdmt	Bone-dry metric ton, kuivapaino
N	Teräspuomien määrä kaaren yksikköpituuksia kohden
v	Massan säteen suuntainen nopeus kohdassa r (m/s)
S	Hiomakiven terävyys
Q _H	Hiokemassan laatusuure (CSF, vetolujuus, jne.)
EES	Energy-efficient surface, energiatehokas pinta
\dot{V}_R	Rejektin tilavuusvirta (m ³ /s)
\dot{V}_F	Syötön tilavuusvirta (m ³ /s)

\dot{m}_R	Rejektin massavirta (kg/s)
\dot{m}_F	Akseptin massavirta (kg/s)
RR_M	Rejektisuhde massavirran mukaan, Reject rate
RR_V	Rejektisuhde tilavuusvirran mukaan, Reject rate
RTF	Rejektin sakeutumiskerroin, Reject thickening factor
F	Virtaus jauhimen läpi (l/min)
OSK	Ominaisrämäkuorma (kW/km s)
Z_r	Roottorin terähampaiden lukumäärä
Z_{st}	Staattorin terähampaiden lukumäärä
l	Vastakkaisten terähampaiden kontaktipituus (km)
L	Jauhimen teräsärmien kokonaispituus (km)
L_s	Teräsärmien leikkausnopeus (km/s)
P_t	Jauhimen kokonaisteho (kW)
P_n	Jauhimen häviöteho (kW)
P_e	Jauhimen nettoteho (kW)

Kreikkalaiset kirjaimet

ρ_{kt}	Puun kuivatuoretiheys
ρ	Kiintotiheys
ρ_A	Neliömassa
α	Vakio
μ_r	Massan ja metalliterän välinen kitkakerroin säteen suhteen
μ_t	Massan ja metalliterän välinen kitkakerroin tangentin suhteen
ω	Pyörimisnopeus (1/s)
τ	Viipymäaika (s)

1. Johdanto

Tässä diplomityössä tutkitaan painehiokkeen valmistusprosessin kriittisimpiä prosessisuureita ja niiden hallintaa. Taivekartongin valmistuksessa kriittisimmät vaatimukset painehiokkeen laadulle ovat freeness (CSF), vetolujuus, palstautumislujuus. Painehiointa on erittäin vaihteluherkkä prosessi, jossa laadun hallinta on haastavaa sekä prosessin hallinnan, että ulkopuolisten tekijöiden kuten ulkolämpötilan takia. Tässä työssä suurin painoarvo on laadullisten raja-arvojen löytäminen ja laadun varmistaminen näiden rajojen sisäpuolelle. Ympäri vuotuisen korkealaatuisen painehiokkeen tuottaminen mahdollistaa taivekartongin ensiluokkaisuuden sekä asiakastyytyväisyyden.

1.1. Työn tausta ja tavoite

Stora Enson Inkeröisten kartonkitehdas tuottaa taivekartonkia kuluttajapakkauksiin. Tehtaalla valmistetaan Tamfold ja Tambrite -taivekartonkilaatuja. Diplomityön aihe perustuu tarpeeseen tutkia taivekartongin rakennemassan, valkaistun painehiokkeen lujuusominaisuuksien vaikutusta itse kartongin lujuuteen.

Kartonginvalmistajan tärkeimpiä kehityskohteita ovat kartongin neliömassan alentaminen ja jalostusominaisuuksien parantaminen. Taivekartongin runkokerroksessa käytetty mekaaninen tai kemimekaaninen massa mahdollistaa keveän rakenteen, mutta toisaalta tekee lujuusominaisuuksien hallinnasta haasteellista. Kuidutusprosessien hallinnassa puuraaka-aineen laadun vuotuinen vaihtelu ja tavoite alentaa energian kulutusta asetavat omat haasteensa.

Tämän diplomityön tavoitteena on tunnistaa painehiomon kriittiset prosessisuureet valmistettavan massan keskeisten laatuominaisuuksien saavuttamiseksi. Prosessin hallintaan kehitetään nykyistä parempi ajomalli niin että laatuominaisuuksien hajonta pie-

nenee ja samalla varmistetaan kartongin laadunhallinta.

1.2. Työn suoritus

Työ koostuu kirjallisuusosasta ja kokeellisesta osasta. Kirjallisuusosassa perehdytään tarkemmin hiokeprosessiin, hiokkeen laatuominaisuuksiin ja etsitään kriittisimpiä prosessisuureita lujuusominaisuuksien vaihteluun sekä laadunhallinnan menetelmiin. Kokeellisessa osassa tehdään selvitys hiokkeen valmistuksen nykytoimintatavasta, tutkitaan laatuun vaikuttavia korrelaatioita mittausdatasta, mitataan massan laatua nykyistä useammasta mittauspisteestä ja näiden pohjalta tutkitaan mahdollisuutta kehittää prosessin ajomallia.

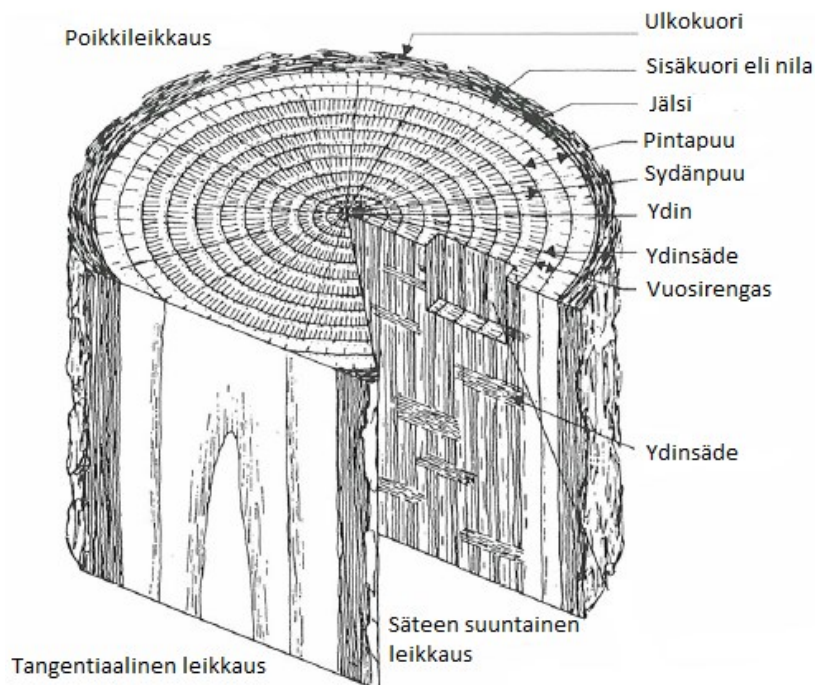
KIRJALLISUUSOSA

2. Raaka-aineet

Käytettävä puuraaka-aine vaikuttaa tärkeänä muuttujana mekaanisen massan ominaisuuksiin, kuten kuidudimensioihin ja kemialliseen koostumukseen. Ideaalitalanteessa mekaanisessa kuidutuksessa kuidut saadaan irrotettua toisistaan mekaanisella rasituksella vähällä energian kulutuksella ja samalla saavutetaan toivotut ominaisuudet mekaaniselle massalle. Tästä syystä mekaanisen massan valmistukseen painehionnalla on Suomessa perinteisesti käytetty raaka-aineena kuusipuuta. Kuusen kuituominaisuudet, kuten kuidun pituus ja seinämäpaksuus sekä pienfibriilirakenne, sopivat erilaisten paperi- ja kartonkituotteiden valmistukseen. Lisäksi kuusesta tuotetulla massalla on luonnostaan hyvä vaaleus, alhainen uuteainepitoisuus, optiset ominaisuudet ja varsin hyvä keskikuitupituus. [1,2]

2.1. Puun rakenne

Puu koostuu rakennekomponenteista, joita ovat selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini, sekä pienistä määristä uuteaineita. Selluloosa ja hemiselluloosa muodostavat solukkoa, josta kuidut ja puun rakenne muodostuvat. Ligniini puolestaan toimii sideaineena puukuitujen välillä. Puun rungon poikkileikkaus voidaan jakaa ulko- ja sisäkuoreen, vuosilustoihin, ydinsäteisiin ja pihkatiehyihin. Puun rakenne on esitetty kuvassa 1. [6,7]



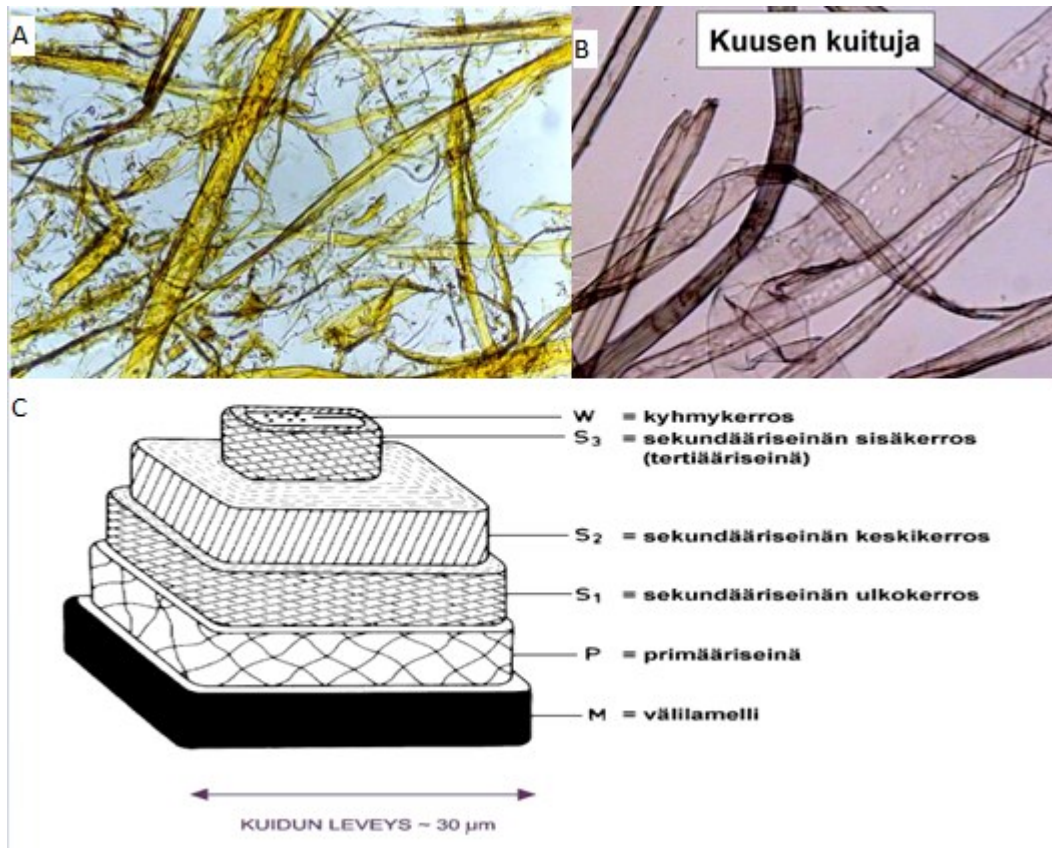
Kuva 1. Puun rakenne, suomennettu. [7]

Puun ydin koostuu pehmeästä, kuolleesta solukosta, joka on erittäin uuteainepitoista. Pinta- ja sydänpuu koostuvat trakeideista, jotka ovat puutuneita ja kuolleita tukisoluja, ja putkisoluista, jotka kuljettavat ravinteita. Puun kasvukerrosta kutsutaan jälsiksi. Siinä solujakaantumisen avulla syntyy uutta puuainesta ja nilaa. Puun kuori muodostuu nilasta ja ulkokuoresta. Nila muodostuu elävistä soluista ja sen tehtävänä on kuljettaa puun lehdistä muodostuneita yhdisteitä runkoa pitkin juuristoon. Ulkokuori puolestaan koostuu kuolleista soluista, ja sen tarkoituksena on suojata puuta. [7,12]

2.2. Kuidut

Stora Enso käyttää Anjalankoskella painehiokkeen valmistukseen kuusipuuta. Havupuut koostuvat lähes kokonaan pituussuuntaiselta rakenteeltaan suipentuvista putkisoluista eli kuiduista. Havupuiden soluista suurin osa muodostuu trakeideista, jotka voivat olla joko rungon tai ydinsäteiden suuntaisia. Rungon suuntaiset trakeidit ovat pituudeltaan

1-6 mm pitkiä, mutta suurin osa on pituudeltaan noin 3 mm. Trakeideja ja solun rakennetta on esitelty kuvassa 2. [7,12]



Kuva 2. Kuitujen ominaisuuksia. A: Hiokekuitujen sitoutuminen massassa. B: Kuusen kuituja. C: Soluseinän kerrokset selostuksineen. [1]

Varsinaisten solujen välissä on solut toisiinsa kiinnittävä välilamelli, joka koostuu noin 70 prosenttisesti ligniinistä. Sekundääriseinä muodostaa suurimman osan soluseinästä, sillä primääriseinä on varsin ohut (0,05-0,1 μm). Sekundääriseinä on jaettu kolmeen kerrokseen, jotka eroavat toisistaan paksuuden ja mikrofibrillikulmien eli selluloosakimppujen suuntautumisen pituusakselin suhteen mukaan. Viimeisenä kerroksena on kyhmykerros, joka sisältää suhteellisen paljon ligniiniä. Kyhmykerroksia on tavattu vain kuolleissa soluissa ja se on rakenteeltaan amorfinen. [7,12]

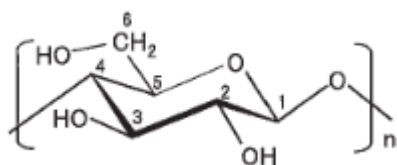
Puumassa voidaan jakaa rakenteellisesti neljään pääryhmään. Ne ovat rakenteelliset puupolymeerit selluloosa, hemiselluloosat ja ligniini, sekä uuteaineet. Kuuselle tyypilliset pääkomponenttien pitoisuudet on listattu taulukkoon 1. [12]

Taulukko 1. Kuusen pääkomponenttien pitoisuudet [12]

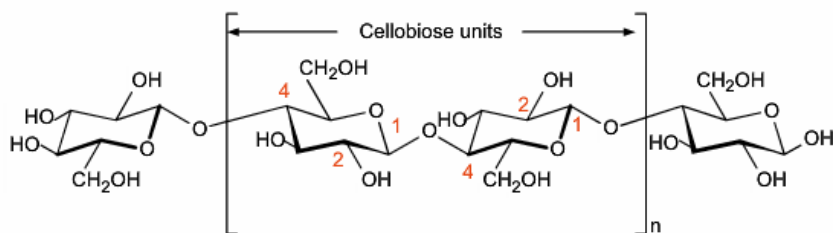
	Selluloosa	Hemiselluloosat	Ligniini	Uuteaineet
Kuusi (<i>Picea abies</i>)	40 m-%	25–30 m-%	30–35 m-%	≈ 1 m-%

2.2.1. Selluloosa

Selluloosa on yleisin luonnossa esiintyvä polymeeri ja puukuidun tärkein mekaaninen komponentti. Selluloosapolymeeri on lineaarinen ja muodostuu glukoosianhydriyksi- köistä, jotka ovat liittyneet toisiinsa β -glykosidisesti 1 \rightarrow 4 -sidoksilla. Kuvissa 3 ja 4 on havainnollistettu sekä selluloosamonomeerin että selluloosapolymeerin rakennetta. [7,12]



Kuva 3. Glukoosianhydriyksikkö eli sellumonomeeri. [13]



Kuva 4. Selluloosan rakenne. Sulkujen oikealla puolella on pelkistävä pääteryhmä ja vasemmalla anhydroglukoosiyksikkö. Cellubiose unit = Toistuva sellobioosiyksikkö. [12,13,14]

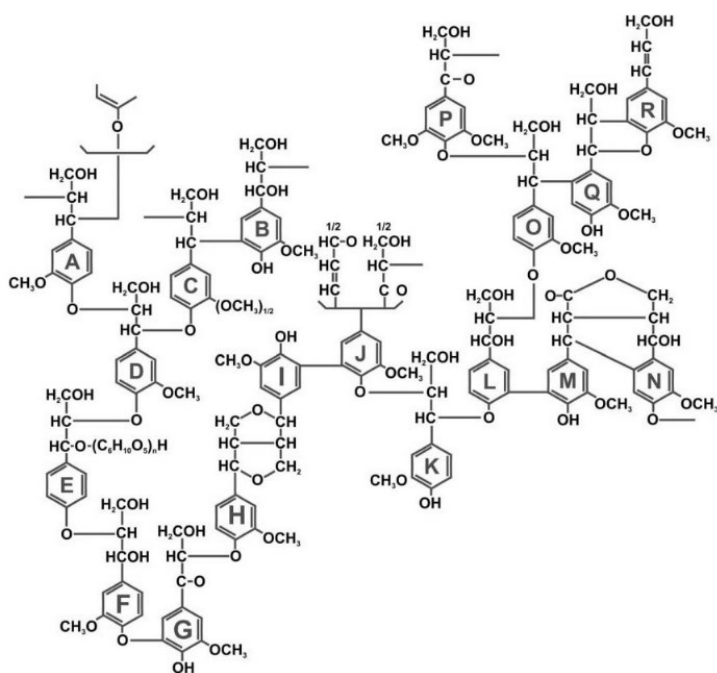
Selluloosapolymeerit muodostavat keskenään alkeisfibrillejä. Jokainen selluloosan glukosiyksikkö sisältää kolme hydroksyyli ryhmää (-OH), joilla on taipumus muodostaa voimakkaita vetysidoksia sekä saman polymeerin glukosiyksikköjen välillä että toisten selluloosapolymeerien kanssa. Glukosiyksikköiden muodostamat vetysidokset mahdollistavat alkeisfibrillien muodostumisen. Ne puolestaan kiinnittyvät toisiinsa ja muodostavat soluseinässä hemiselluloosan kanssa mikrofibrillejä. Näistä muodostuu makrofibrillejä ja edelleen lamelleja. [7,12]

2.2.2. Hemiselluloosa

Hemiselluloosat ovat rakenteeltaan haaroittuneita polysakkarideja, jotka koostuvat monosakkaridiyksiköistä, jotka ovat suurimmaksi osaksi glukosia, galaktoosia, mannoosia, ksyloosia sekä arabinoosia. Havupuissa yleisimmin hemiselluloosat ovat glukomannaania. Muita hemiselluloosia on vähemmän, mutta havupuissa esiintyy havupuissa esiintyy ksylaania. [7, 12]

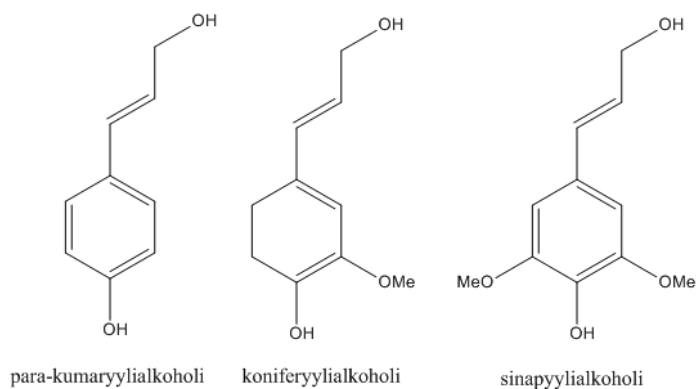
2.2.3. Ligniini

Ligniinin tehtävänä on sitoa kuituja toisiinsa ja antaa niille jäykkyyttä. Se poikkeaa kemialliselta rakenteeltaan huomattavasti muista puun komponenteista. Ligniini on amorfinen ja hydrofobinen polymeeri, jonka rakennetta ei tunneta täysin, sillä sen uutaminen on vaikeaa. [7] Pavlovin mukaan [15] eniten tieteellistä tukea saanut rakenneehdotus on Freudenbergin malli vuodelta 1964. Tämä rakenne on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Freudenbergin malli ligniinin rakenteelle. [15]

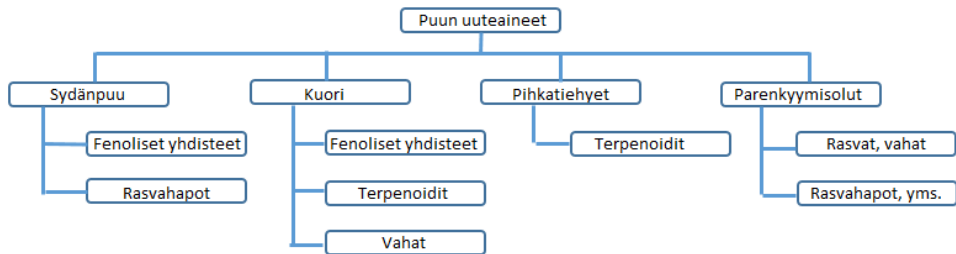
Kuvassa 15 nähdään ligniinin haaroittunut ja verkkomainen polymeerirakenne. Se koostuu aromaattisista fenyylipropaniyksiköistä, prekursoreista, jotka poikkeavat toisistaan aromaattiseen renkaaseen kiinnittyneiden metoksyyliryhmien määrän perusteella. [7] Ligniinin prekursorit on esitelty kuvassa 6.



Kuva 6. Ligniinin prekursorit, suomennettu. [12]

2.2.4. Uuteaineet

Kuusi sisältää vain 1-2 % uuteaineita ja epäorgaanisia yhdisteitä, jotka toimivat suoja-aineina mikrobiologisille vaurioille ja hyönteisille sekä toimivat vararavintona. [12] Esimerkkejä puun uuteaineista ja niiden sijainneista on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Esimerkkejä puun uuteaineista ja niiden sijainneista. [12]

Uuteaineainepitoisuuteen vaikuttaa oleellisesti puun ikä, kasvupaikka, vuodenaika ja perintötekijät. Uuteaineita on suhteessa suurempia määriä yleensä sydänpuussa, kuorissa, pihkatiehyeissä, sisäöksissä sekä ydinsäteiden parenkyymsoluissa. [12] Kemiallisessa massan valmistuksessa uuteaineet ovat haitallisia, sillä ne aiheuttavat ei-toivottuja ilmiöitä prosessikemiassa. Mekaanisessa massanvalmistuksessa uuteaineet voivat hankaloittaa hiontaprosessia tukosten muodossa, sekä aiheuttaa pieniä muutoksia lopputuotteen optiseen laatuun. Hienoaineet voivat jossain määrin myös parantaa hiokemassan lujuusominaisuuksia. [5]

3. Mekaaninen massa

Mekaanisen massan valmistuksessa puuta kuidutetaan pehmittämällä siinä olevaa ligniiniä vedellä, lämmöllä ja mekaanisella rasituksella. Rasitus voidaan tehdä joko hiomalla tai hiertämällä. Hierteen valmistus ei kuulu tämän työn aihepiiriin. Mekaaninen kuormitus saa puun absorboimaan energiaa, jolloin se lämpenee ja samalla pehmentää

kuitujen kiinnitysaineena toimivaa ligniiniä. Puun lämpenemistä hallitaan suihkuveden avulla, joiden tarkoituksena on muodostaa kitkaa vähentävä vesikerros hiomakiven pinnalle. Suihkuveden avulla myös puhdistetaan kiveä. Ideaalitilanteessa mekaanisella kuidutuksella voidaan valmistaa tuotetta, jolla on korkea opasiteetti, kirkkaus, bulkki sekä hyvä sileys ja jäykkyys [3, 11] Sundholmin [11] mukaan ideaalinen mekaaninen prosessi vaatii toimiakseen kuitujen erottumisen puun rakennematriisista, kuitujen alkuperäisen pituuden säilyvyyden prosessin läpi, kuituseinämien fibrilloitumisen ja välilamellin irrottumisen sekä primäärikuituseinämän osittaisen irrottumisen, jonka seurauksena sekundäärikuituseinämä voidaan fibrilloida.

Mekaanisen massan valmistus eroaa monella tavalla kemiallisesta massan valmistuksesta. Siinä missä kemiallisessa prosessissa pyritään erottamaan liuottamalla eri komponentteja massasta, mekaanisen massan valmistuksessa uuteaineiden ja muiden komponenttien liukeneminen veteen pienissä määrissä on väistämätöntä. Prosessit eroavat toisistaan myös saantomäärissä. Mekaanisen massan valmistuksessa ja tarkemmin painehiokkeen valmistuksessa saanto on noin 97–98 prosenttia, kun taas kemiallisessa prosessissa saanto jää noin 40–45 prosenttiin. Mekaanisen prosessin etuja ovat myös alhaiset investointikulut sekä yksinkertainen prosessi, jota on helppo huoltaa. Painehiokeprosessin heikkous on sen suuri energiankulutus [3, 11]

4. Painehiokeprosessi ja rejektin käsittely

Painehiokeprosessi (PGW-prosessi) voidaan jakaa pääprosessiin ja rejektinkäsittelyyn. Pääprosessin vaihteita ovat hionta, saostus, painelajittelu, pyörrepuhdistus, veden poisto sekä valkaisu. Rejektin käsittelyssä puolestaan rejektimassasta poistetaan tikkuja, kuitupaakkuja sekä hienoaainesta kiekkojauhatuksen ja painelajittelun avulla. [22,24]

4.1. Hiontaprosessi

Ennen painehiontaa raaka-ainepuu leikataan sopivaan pituuteen ja puun kuori poistetaan kuorimolla. Kuorinnan tarkoituksena on poistaa puusta kuori ja muita epäpuhtauksia, kuten kiviä ja hiekkaa. Tämä helpottaa hiontaprosessia sekä parantaa hiokkeen vaaleutta. [8] Kuorinta suoritetaan rumpukuorimilla, joihin syötetään rummun alkupäähän 35 asteista vettä helpottamaan kuoren irtoamista puusta. Irrotettu kuori kuivataan ja poltetaan tehtaan voimalaitoksella tai käytetään höyryntuotantoon. Kuorimolta valmiit pöllit kuljetetaan hihnakuuljettimilla hiomakoneiden syöttöhihnalle. Kuvassa 8 on esitetty kuorimarumpu ja kuvassa 9 hiomakoneiden päällä sijaitseva syöttöhihna.

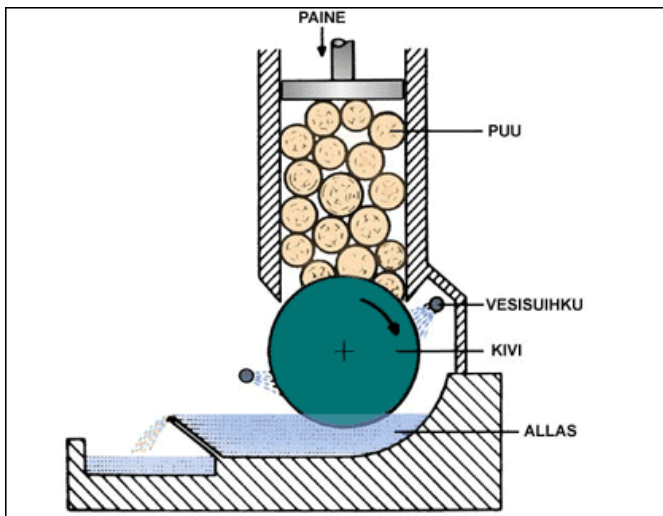


Kuva 8. Kuorimarummut ja ison rummun syöttöpää Stora Enson Anjalankosken tehtaiden kuorimolla. Kuvat on otettu päiväseisokin aikana.



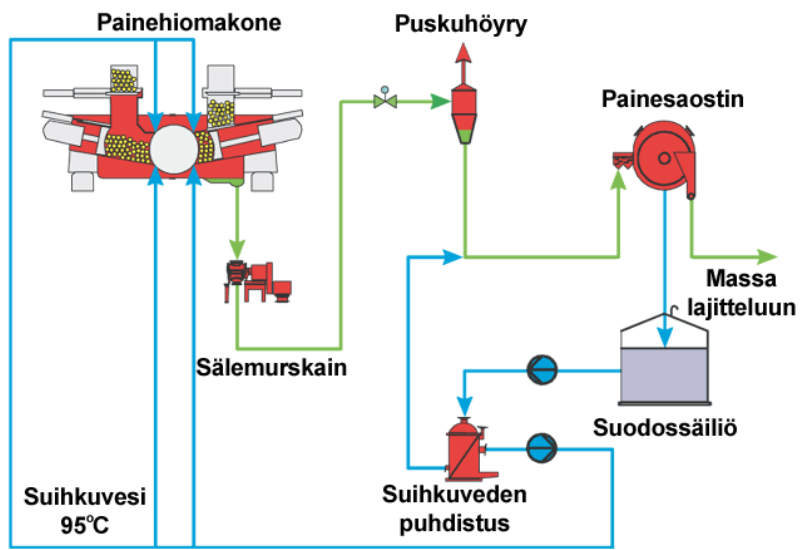
Kuva 9. Hiomakoneiden syöttöhihna Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomossa.

Varsinaisen hiokkeen valmistus alkaa puupöllien hionnalla pyörivää hiomakiveä vasten. Kiven pinta on kuvioitu ja teroitettu. Puumassassa oleva ligniini pehmitetään veden, lämmön ja toistuvan mekaanisen rasituksen avulla. Hiontaprosessin tuote, hiokemassa, sisältää kaikki puun aineosat (selluloosa, hemiselluloosa, ligniini), joten saanto prosessissa on yli 90 %. [3,5] Kuvassa 10 on esitetty hiomakoneen toiminnallinen periaate.

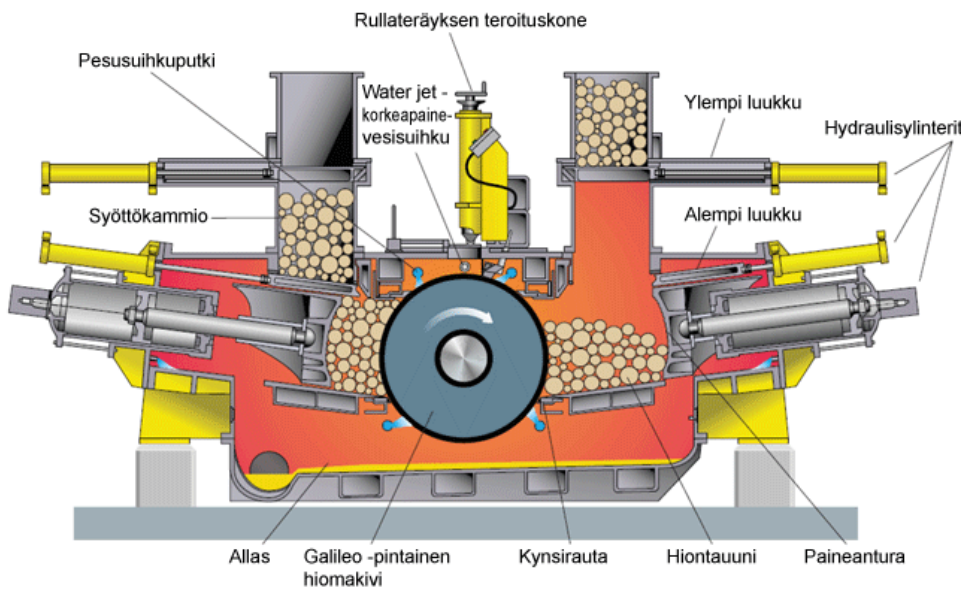


Kuva 10. Hiomakoneen toimintaperiaate. [3]

Paineen lisääminen hiokkeen valmistukseen parantaa kuitujen erottumista, jolloin tuotetulla massalla on korkeampi vetolujuus, freeness (CSF-luku) sekä varsin hyvä vaaleus. [4] Painehionta tapahtuu korkeintaan kolmen baarin paineessa. Suihkuveden lämpötila on myös huomattavan korkea (90-95 °C). Raaka-aine syötetään paineilmalla paineistettuun välikammioon, josta se panos kerrallaan päästetään hiontauuniin, jossa itse hionta tapahtuu. [3,22] Painehiontaprosessin päälinjan prosessikaavio on esitetty kuvassa 11 ja painehiomakone kuvassa 12. Lisäksi kuvassa 13 on esitetty Tampellan valmistama painehiomakone Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomosta.



Kuva 11. Painehiontaprosessin havainnekaavio ilman jatkokäsittelyä. [3]



Kuva 12. Kaksiuuninen painehiomakone. [3]

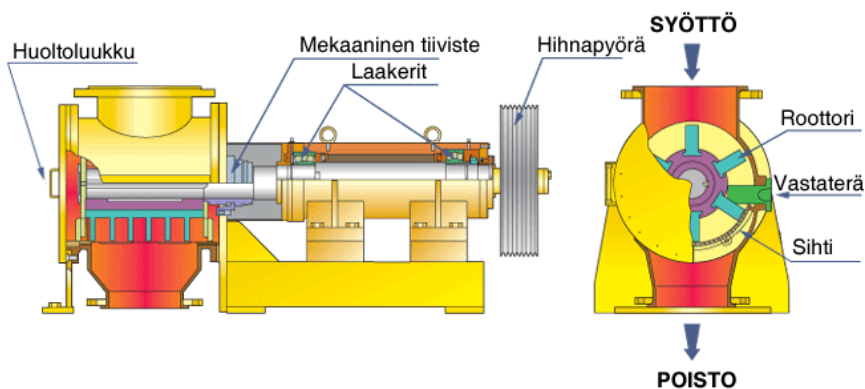


Kuva 13. Tampellan valmistama painehiomakone Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomosta.

Hiottu massa poistetaan hiomakoneesta ylipaineella sälemurskaimelle, jossa liian suuret massakappaleet murskataan. Sälemurskain on esitetty kuvassa 14 ja sen toimintaa on esitelty kuvassa 15. Murskaimelta hyväksytty jae eli aksepti siirretään puskusykloonan ja rejekti rejektinkäsittelyyn. Puskusykloonassa painehiokemassaa paisutetaan ilmanpaineeseen ja kuuma painehioke johdetaan ilmanpaineessa painesakeuttimeen. Sakeuttimessa massan kuiva-ainepitoisuutta nostetaan saostamalla noin 10 prosenttiin. Suodosvesi erotetaan ja palautetaan takaisin suihkuvesikiertoon sekä painesaostuksen avuksi. [5,3,22]

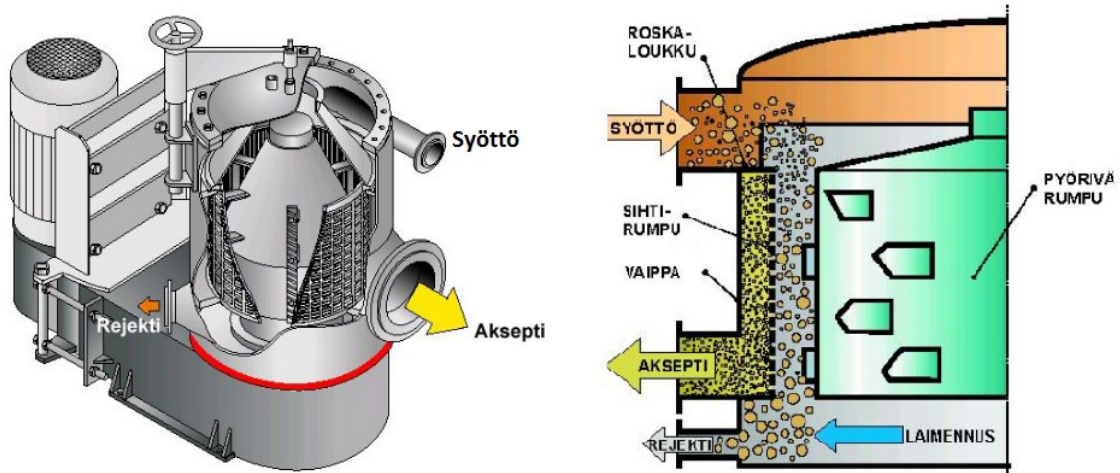


Kuva 14. Sälemurskain ja sen päällä oleva pudotusputki Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomossa.



Kuva 15. Sälemurskaimen toiminta. [3]

Painesakeuttimelta massasulppu jaetaan akseptiin ja rejektiin painelajittimien avulla. Tämä massan lajittelu tehdään lopputuotteen laatuvaatimuksien mukaisesti. Sen tarkoituksena on poistaa haitalliset, kuituuntumattomat fraktiot akseptimassasta. [22,24] Painelajittimet ovat yleisimpiä lajitintyyppejä hiokeprosesseissa. [25] Kuvassa 16 on esitelty painelajitin ja sen toimintaperiaate sekä kuvassa 17 rejektilinjan painelajitin Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomolta.



Kuva 16. Painelajitin ja sen toimintaperiaate. [26]



Kuva 17. Yksi rejektilinja R4:n painelajittimista Stora Enson Anjalankosken tehtailla.

Massan erotus tapahtuu sihtirummun avulla, johon tikut, kuitukimput ja muut epäpuhtaudet jäävät kiinni. Syöttö painelajittimeen tapahtuu noin 2 bar paineella ja rejekti huuhdotaan vedellä rejektinkäsittelyyn. [25,27] PGW-prosessi vaatii useamman vaiheen painelajittelun, sillä massan tikku- ja pitkäkuituosuudet ovat suhteellisen suuret verrattuna paineistamattomaan hiontaan, eli SGW-prosessiin. Painelajittimet ovat kuitenkin kehittyneet ajan myötä varsin tehokkaiksi. Suurin osa tikuista saadaan erotettua

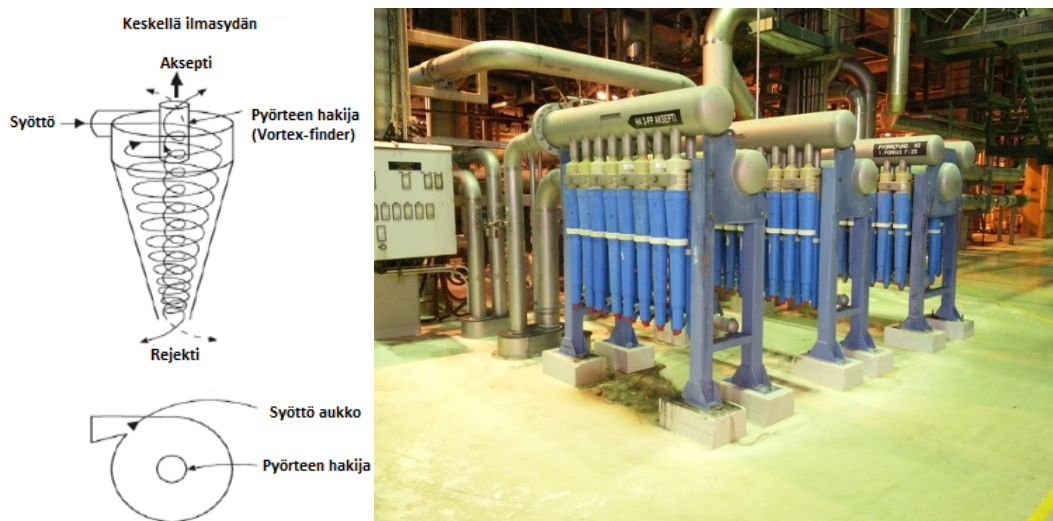
rejektin käsittelyyn jauhattaviksi. [26] Kuvassa 18 on esitetty H4 päälinjan painelajitin Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomolta.



Kuva 18. Pinalajitin Anjalankosken tehtaiden painehiomolla. Kuvassa nähdään painelajittimen syöttö-, aksepti- ja rejektiputket ylhäältä alas lueteltuina.

Massasulppu saattaa sisältää vielä painelajittelun jälkeen kuorta, hiekkaa, metallia ja muita epäpuhtauksia. [25] Stora Enson Anjalankosken taivekartongin painehiokeprosessissa näiden epäpuhtauksien poistoon käytetään pyörrepuhdistimia. Pyörrepuhdistimien käyttö ei kuitenkaan ole aina tarpeellista. Taivekartongin laadun mukaan voidaan valita käytetäänkö pyörrepuhdistimia vai ajetaanko massasulppu suoraan kiekkosuotimille. Kuten kuvassa 19 on esitelty, pyörrepuhdistin toimii keskipakovoimalla. Samassa kuvassa on myös esitetty tehtaalle asennetut pyörrepuhdistinsarjat. Painavampi fraktio, rejekti, ajautuu putken ulkoreunalle ja siitä pohjalle ja kevyempi fraktio, aksepti, nousee keskeltä ylös. Suurilla ja painavilla partikkeleilla on suurempi todennäköisyys jäädä rejektiin. [25,27] Epäpuhtauksien poistoa voidaan tehostaa pyörrepuhdis-

tinsarjoilla, joissa on sarjaan kytkettynä useita pyörrepuhdistimia, jolloin akseptista saadaan mahdollisimman puhdasta. Taulukossa 2 on esitelty partikkelien ominaisuuksia, joiden perusteella ne päätyvät joko akseptiin tai rejektiin.



Kuva 19. Pyörrepuhdistin ja sen toimintaperiaate, suomennettu [25] sekä H4-linjan pyörrepuhdistinsarjat Anjalankosken tehtaiden painehiomossa.

Taulukko 2. Partikkelin fraktio akseptiin tai rejektiin ominaisuuksien mukaan [25].

Partikkelin ominaisuus	Partikkelit	
	Akseptiin	Rejektiin
Paino	Kevyet	Painavat
Pituus	Lyhyet	Pitkät
Leveys	Kapeat	Paksut
Pinta-ala	Suuret	Pienet
Koko	Pienet	Suuret

Pyörrepuhdistusta voidaan säätää syötön ja akseptin välisellä paine-erolla, lajittelusakeudella, rejektisuhteella ja joissain tapauksissa myös lämpötilalla. Paine-eroon voidaan vaikuttaa syöttöpumpun säädöllä. Suuremmalla paine-erolla saadaan aikaan suurempi läpivirtauskapasiteetti sekä nopeampi sisääntulovirtaus. Paineen kasvattami-

nen onnistuu vain tiettyyn pisteeseen saakka, jonka jälkeen virtaus pyörrepuhdistimen sisällä muuttuu turbulenttiseksi ja sotkee erotuksen. Muita pyörrepuhdistuksen suureita säätämällä ei saada aikaan kovin suurta vaikutusta lajittelutulokseen. [25]

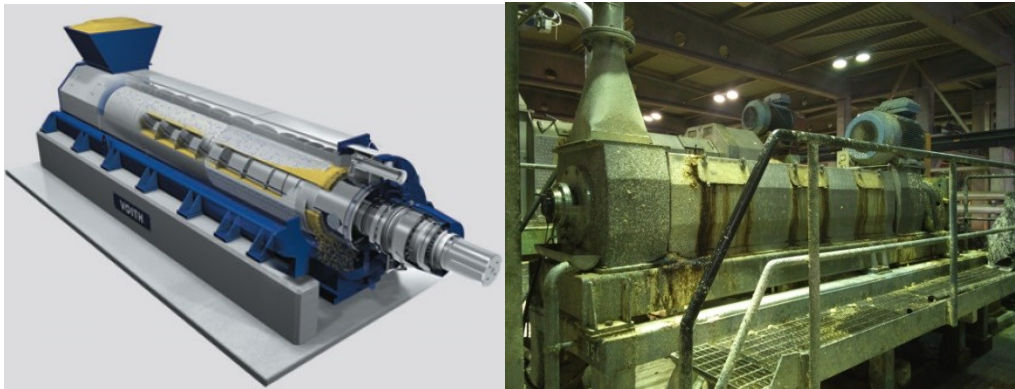
4.2. Rejektinkäsittely

Rejektinkäsittelyn tarkoituksena on hajottaa lajittelun eri vaiheista kerätystä massasta kuituuntumaton jae kuiduksi ja palauttaa se takaisin akseptivirtaan. Samalla karkeat ja pitkät kuidut käsitellään niin, että ne eivät aiheuta laadun vaihtelua lopputuotteessa. Lisäksi rejektimassalla voidaan parantaa päämassan lujuusominaisuuksia. [24,27]

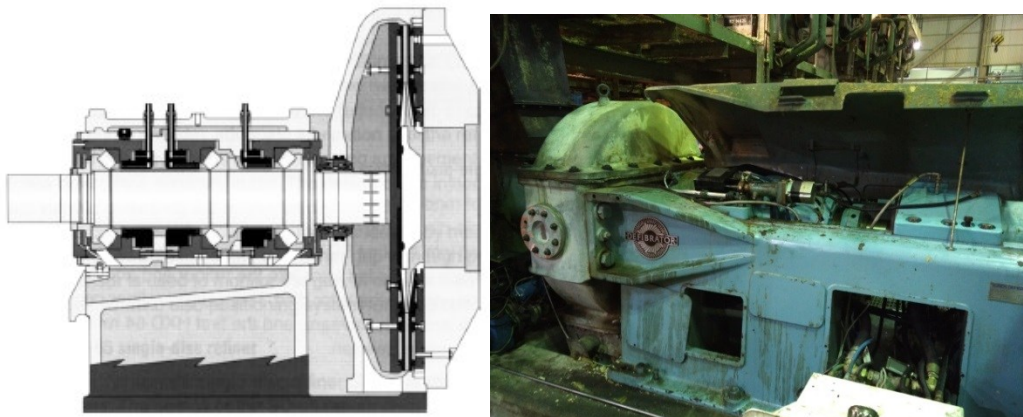
Tutkittavassa prosessissa rejekti esisaostetaan, saostetaan ruuvipuristimilla ja jauheetaan kiekkojauhimilla. Jauhatettu massa lajitellaan painelajittimilla ja pyörrepuhdistimilla, joista aksepti ajetaan päämassan joukkoon päälinjan kiekkosuotimille. Lajittelusta saatu rejekti palautetaan rejektin esisaostukseen. Viimeiseltä pyörrepuhdistimelta rejekti johdetaan vedenpuhdistamolle.

Esisaostuksessa massan sakeus nostetaan noin 3-5 prosenttiin, jonka jälkeen sakeus nostetaan ruuvisakeuttimella 30-50 prosenttiin. Rejektin käsittely voitaisiin myös suorittaa matalamassa sakeudessa, mutta korkeammalla jauhatussakeudella saadaan poistettua paremmin pienet tikut ja pitkäkuituus pidettyä korkeana, jolloin lujuusominaisuudet säilyvät paremmin. Korkeasakeusjauhatuksen käyttö on kallista korkean energian ominaiskulutuksen takia. [24,26] Lujuusominaisuuksien hyötyjen takia tämä on kuitenkin paras vaihtoehto taivekartongin valmistukseen. Huusari *et al.* [24] mukaan on olemassa myös prosesseja, joissa matala- ja korkeasakeusjauhatusta on yhdistetty energiatehokkaamman ratkaisun saavuttamiseksi myös kartongin valmistuksessa. Näiden hybridisakeusjauhatuksien haittapuolia ovat heikentyneet lujuusominaisuudet.

Anjalankosken tehtailla saostus suoritetaan kuvassa 20 esitetyillä Thune-ruuvipuristimilla ja kiekkojauhatus tehdään yksiteräisillä SD-levyjauhimilla, jotka on esitetty kuvassa 21. Kiekkojauhatus voidaan tehdä joko normaali-ilmanpaineessa tai paineistettuna. Näiden kahden vaihtoehdon välinen valinta perustuu jauhatustarpeen mukaan. Suurempaa EOK:ta vaativa jauhatus normaali-ilmanpaineessa aiheuttaa epätasaisuutta syöttöön, jolloin jauhatuksen laatu vaihtelee. Jauhatuksen tasalaatuisuutta voidaan parantaa paineistamalla kiekkojauhin. [24,27] Rejektin jauhatuksen hallintasuureita ja niiden vaikutusta painehiokemassan laatuun on käsitelty kappaleessa 6.2.3.



Kuva 20. Thune-ruuvipuristin. Valmistajan havainnekuva Thune-ruuvipuristimesta [28] ja vastaava ruuvipuristin Anjalankosken tehtaiden painehiomolta.



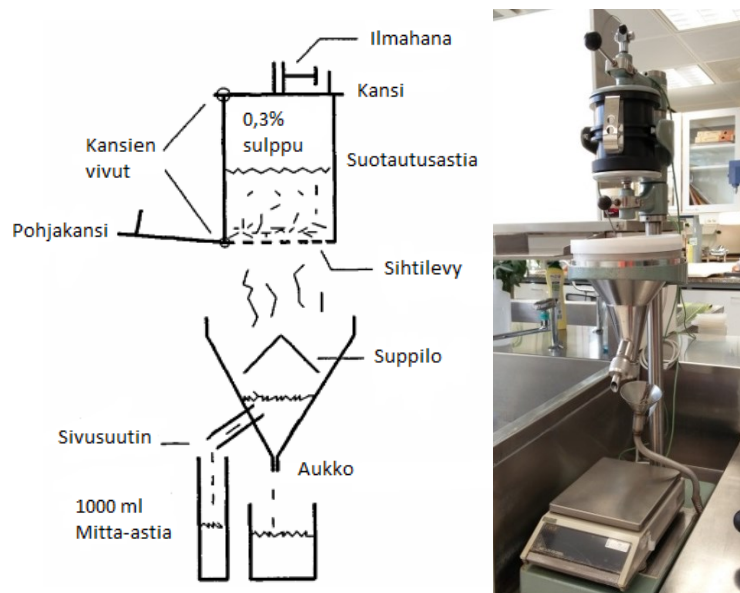
Kuva 21. Metson SD-jauhimen havainnekuva [22] ja kiekkojauhin Anjalankosken tehtaiden painehiomolta.

5. Massaominaisuudet

Tässä kappaleessa käsitellään hiokemassan tärkeimpiä laatuomaisuuksia tämä työn kannalta. Näistä laadun hallinnan osalta oleellimmat ovat freeness (CSF) ja palstautumislujuus. Näiden taustalla on myös muita massaominaisuuksia, kuten tiheys, bulkki sekä repäisy- ja vetolujuus, joita on käsitelty seuraavissa kappaleissa.

5.1. Canadian Standard Freeness (CSF)

Hiokeprosessissa kuitujen rakenteessa tapahtuu muutoksia ja samalla muodostuu uute- ja hienoaineita. Kuituseinäämä hioutuu ja ohenee, jolloin kuidusta tulee joustavampi ja se luhistuu helpommin. Näitä ominaisuuksia voidaan seurata massasulppusta mittaamalla sen vedenpoisto-ominaisuuksia. Ne muuttuvat kuitupituusjakauman ja fraktioiden jakauman muutosten mukaan. Yleisin tapa mitata massasulpun vedenpoisto-ominaisuuksia on CSF-testi, jolla mitataan sulpun freeness-lukua. Testissä litra 3 g/l sakeuksista sulppua suodatetaan sihtilevyn läpi. [17,18] Mittauslaitteen rakenne ja laite Stora Enson Anjalankosken tehtaiden massalaboratoriosta on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. CSF-mittauslaitteen rakenne, suomennettu. [17]

CSF pienenee mitä nopeammin suotautuminen sihtilevyn päälle muodostuvan kuitumaton läpi hidastuu. Se määräytyy sivusuuttimesta mitta-astiaan keräytyvän veden määrän mukaan, ja sen yksikkö on millilitra. Massan CSF vaikuttaa taivekartongin valmistuksessa puristuksen ja kuivatuksen tarpeeseen. Tämän lisäksi CSF-luvulla on suora korrelaatio taivekartongin laatuominaisuuksiin, kuten veto- ja repeytymislujuuteen, bulkkiin sekä kuituorientaatioon. [18,19] Taivekartongin valmistukseen käytettävän painehiokkeen CSF-luku vaihtelee noin 300 ml ja 360 ml välillä.

5.2. Kiintotiheys ja bulkki

Taivekartongin jäykkyys vaikuttaa merkittävästi tuotteen jatkojalostukseen. Kartongin jäykkyyttä voidaan mitata kiintotiheydellä ja bulkilla. Kiintotiheys lasketaan kartongin neliömassan ja paksuuden avulla. Neliömassa kertoo kuinka paljon neliömetrin kokoinen kartonki painaa grammoina. Kiintotiheys puolestaan lasketaan tästä neliömassan ja paksuuden tulona yhtälön 1 mukaan. [20,21]

$$Kiintotiheys = \rho = \rho_A \cdot d \quad (1)$$

Jossa	d	Yhden kartonkiarkin paksuus (m)
	ρ_A	Neliömassa (g/m ²)

Bulkki on kiintotiheyden käänteisarvo. Sen suureyhtälö on esitetty kaavassa (2). Samalla yhtälöllä voidaan laskea myös bulkki kahdesta eri massasta koostuvalle kartongille. [20]

$$Bulkki = \frac{1}{\rho} = \frac{x}{\rho_1} + \frac{1-x}{\rho_2} \quad (2)$$

Jossa	ρ_1	Massan 1 kiintotiheys (g/m ³)
	ρ_2	Massan 2 kiintotiheys (g/m ³)
	x	Massan 1 osuus yhdistetyssä massassa

Tyypillisesti taivekartonkiin pyritään saamaan mahdollisimman korkea bulkki mahdollisimman pienellä neliöpainolla, jolloin asiakas pystyy valmistamaan laadukkaita ja jäykkiä pakkauksia vähemmällä materiaalilla.

5.3. Repäisy- ja vetolujuus

Repäisylujuudella tarkoitetaan pienintä keskimääräistä työtä tietyn mittaisen repeämän aikaansaamiseksi kartongissa. Repäisylujuuteen vaikuttavat kuitujen pituudet ja kestävyys sekä kuitujen väliset sidokset ja kuituorientaatio kartongissa. Vahvat ja pitkät kuidut parantavat repäisylujuutta. Repäisylujuuden yksikkö on yleensä millinewton (mN) ja siitä voidaan laskea kaavan 3 mukaan repäisyindeksi, jonka suhteuttaa repäisylujuuden neliömassaan. [32]

$$Repäisyindeksi = \frac{Repäisylujuus (mN)}{Neliömassa (g/m^2)} \quad (3)$$

Vetolujuus on hyvä perussuure kartongin lujuuden mittaamiseen. Sitä mitataan kuor-

mittamalla kartonkia pinnan suuntaisesti. Vetolujuus on maksimiarvo kuormitukselle, jonka kartonki kestää murtumatta. Sen yksikkö on kN/m ja laskettavuutta parannetaan muodostamalla kaavan 4 mukaan vetolujuusindeksi neliömassan suhteen. Vetolujuusindeksiä käytetään yleisimpänä mittarina kartongin lujuudelle. [32]

$$\text{Vetolujuusindeksi} = \frac{\text{Vetolujuus} \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}} \right)}{\text{Neliömassa} \left(\frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right)} \quad (4)$$

5.4. Palstautumislujuus

Palstautumislujuudella tarkoitetaan kartongin vetolujuutta kohtisuoraan (z-suuntaan). Tällä ei kuitenkaan tarkoiteta pinnan rikkoutumiseen tarvittavaa voimaa, vaan kerrosten väliseen irtoamiseen tarvittavaa voimaa. Palstautumislujuutta mitataan yleisimmin Scott bond -laitteella, joka antaa palstautumislujuudelle yksiköksi J/m². [32] Sitä voidaan parantaa mekaanisen massan valmistuksessa hienoaineen osuutta ja pitkäkuituosuutta lisäämällä. [33] Feller *et al.* [39] todistivat 15 prosentin hienoaineen lisäämisen kasvattavan kemiallisen massan palstautumislujuutta huomattavasti. Mekaanisen massan lujuusominaisuuksiin hienoaineen lisäyksellä ei kuitenkaan ollut suurta vaikutusta. Korkea paksuussuuntainen lujuus antaa kartongille tarvittavaa lujuutta jatkojalostuksessa, kuten painatuksessa. Liian korkea palstautumislujuus kuitenkin heikentää taivekartongin nuutattavuutta eli sen taitettavuutta. [33] Tarvittaessa palstautumislujuutta voidaan parantaa myös lisäämällä kartonkikoneella massan joukkoon tärkkelystä, joka muodostaa kuitujen kanssa vetysidoksia ja siten vahvistaa massaa. [34,39] Stora Enson Inkeröisten kartonkitehtaalla on havaittu palstautumislujuuden korreloivan hiokkeen vetoindeksin kanssa. Vetoindeksin kasvaessa myös palstautumislujuus kasvaa.

5.5. Kuitujakauma

Hiokemassan kuidut voidaan jakaa hienoaineisiin, keski- tai välijakeeseen ja pitkäkuitu-

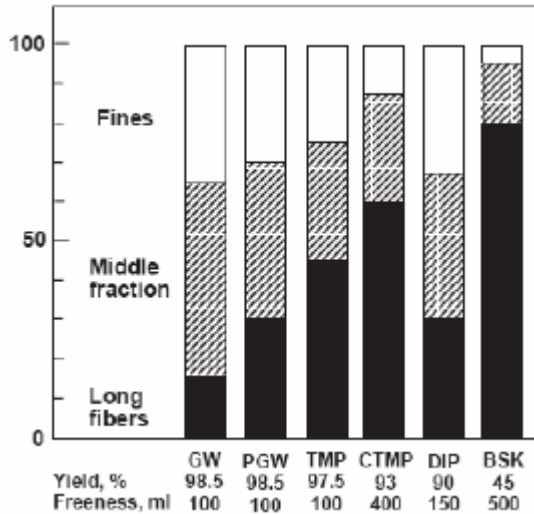
jakeeseen. Tämä kuitujakauma voidaan määrittää joko optisesti tai fraktioimalla esimerkiksi Bauer-McNett -lajittelulla. Optinen määrittäminen voidaan tehdä Pulp Expert -laitteella, joka ottaa kuvia näytteistä ja mittaa kuitujen pituuksia kuvista. Fraktiointiin perustuva kuitujakauman määrittäminen tehdään johtamalla massaa eri tiheyksien sarjaan kytkettyjen viirojen läpi. Viirojen tiheydet ovat yleensä 14, 28, 48, 100 ja 200 meshiä. [11,18,52]

Hienoainetta on se osa fraktioitavasta massasta, joka läpäisee 200 meshin viiran. Optisessa määrittämisessä hienoainepartikkeleiden pituus on alle 0,4 mm. Hienoaine sisältää sekä selluloosapitoisen osan, joka edistää pidempien kuitujen kiinnittymistä toisiinsa, että hydrofobisen, ligniinipitoisen osan, joka puolestaan estää kuituja turpoamasta ja kiinnittymästä toisiinsa. Tästä johtuen hienoaineosuuden kasvattaminen lisää repäisylujuutta noin 20 prosentin osuuteen ja vetolujuutta aina 40 prosentin osuuteen saakka, jonka jälkeen lujuusominaisuudet lähtevät laskuun. [1,5,11,18]

Keskijae läpäisee 28 meshin viiran, mutta ei enää 200 meshin viiraa. Optisessa määrittämisessä partikkeleiden pituus on noin 0,4 - 1,2 mm. Keskijae sisältää katkenneita kuituja ja kuitufragmenteja. Massan mukana voi olla myös hajoamassa olevia pidempiä kuituja, jotka ovat päässeet läpäisemään viiran. Hiokemassan ominaisuuksien kannalta keskijae on tärkeä, sillä keskijakeen kuidut ovat taipuisampia ja niillä on suurempi ominaispinta-ala verrattuna pitkäkuitujakeeseen, jolloin se on sitoutumiskykyisempää. [1,5,11,18]

Pitkäkuitujae on ensimmäisenä fraktioituva massan osa. Optisessa määrittämisessä siihen kuuluvat yli 1,2 mm pitkät kuidut. Pitkäkuitujae sisältää pääasiassa ehjiä kuituja. Ne ovat jäykkiä, jolloin jakeen sitoutumiskyky on heikko. Pitkäkuituosuuden kasvattaminen lisää repäisylujuutta aina 50 prosenttiin saakka, mutta samalla alentaa vetolujuutta ja lisää karheutta. [1,5,11,18] Kuvassa 23 on esitetty kuusesta valmistettujen massojen

kuitujakaumia eri prosesseista, prosessien keskimääräiset saannot sekä freeness. Valkaistun havusellun (BSK) kuitujakauma ei varsinaisesti ole verrattavissa mekaanisien massojen jakaumiin, sillä BSK-prosessissa poistetaan ligniiniä massasta.



Kuva 23. Eri prosesseilla valmistettujen massojen kuitupituusjakaumia tietyllä jauhausasteella. Fines = Hienoaineet, Middle fraktion = Keskijae, Long fibers = Pitkäkuitujae, GW = kivihioke, PGW = Painehioke, TMP = Kuumahierre, CTMP = Kemikuumahierre, DIP = kierrätyskuitu, BSK = Valkaistu havusellu. [11]

6. Laatuun vaikuttavat tekijät

6.1. Raaka-aineen vaikutuksen laatuun

Raakapuun ominaisuudet aina sen iästä sahauskohtaan vaikuttavat prosessiin ja tuotetun hiokemassan laatuominaisuuksiin. Kuituominaisuudet ja kemiallinen koostumus vaihtelevat puun kasvupaikan ja sen perintötekijöiden mukaan. Nämä vaikuttavat kuidun pituuteen, pinta-alaan, seinämän paksuuteen ja ympärysmittaan, joilla puolestaan on suuri merkitys lopputuotteen laatuun. [2]

6.1.1. Puun kuivatuoretiheys

Puun kuivatuoretiheys (ρ_{kt}) määritetään sen kuivamassan ja tuoretilavuuden suhteena kaavassa 5 esitetyllä tavalla. [2]

$$\rho_{kt} = \frac{\text{kuivamassa (kg)}}{\text{tuoretilavuus (m}^3\text{)}} \quad (5)$$

Puun kuivatuoretiheyttä voi käyttää yhtenä arviointikeinona mekaanisen massan laatuominaisuuksien ennakkointiin PGW-prosesseissa. Kuivatuoretiheyteen vaikuttavat soluseinämän paksuus, uuteaineet, kuituseinämien välisten aukkojen sekä soluonteloiden koko ja osuus. Tiheys korreloi raakapuun mekaanisiin ominaisuuksiin, mikä näkyy käytännössä puun hiottavuudessa, saannossa sekä massan ja kartongin laatuominaisuuksissa. [5]

6.1.2. Puun kosteuspitoisuus

Puun kosteuspitoisuus on kuivatuoretiheyden lisäksi hyvä arviointikeino tuotettavan massan laadulle. Kosteuspitoisuus lasketaan puussa olevan veden ja puun kuivapainon suhteena. Laskukaava kosteuspitoisuudelle on esitetty kaavassa 6. [35]

$$\text{Kosteus-\%} = 100 \cdot \frac{\text{Veden massa puussa}}{\text{Puun kuivapaino}} \quad (6)$$

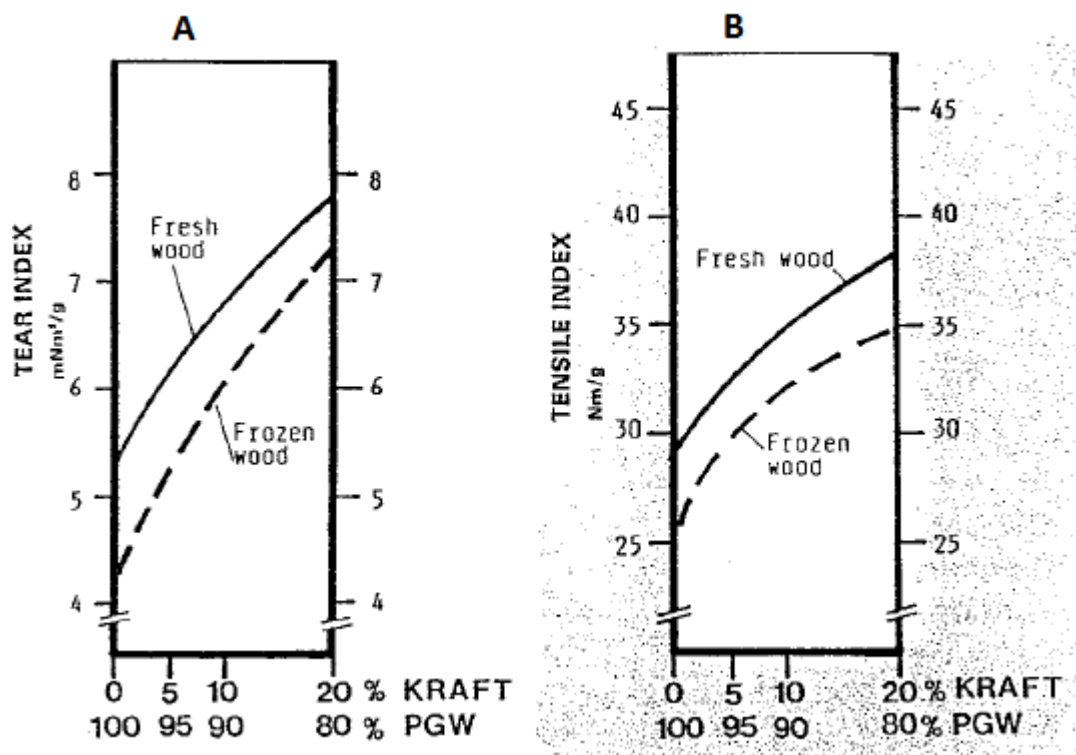
Puun kosteuspitoisuus vaihtelee puun sisällä. Kuudessa kosteus on pintapuussa noin 60 prosenttia, kun taas sydänpuussa kosteutta on vain noin 30 prosenttia. Näin selvä kosteuspitoisuuden vaihtelu aiheuttaa vaihtelua hiokemassan laatuun. [2,35] Puun kosteuspitoisuuteen voidaan vaikuttaa kesäisin kastelemalla puuvarastoja. Talviaikaan prosessin ajotapaa on muutettava puun kosteuspitoisuuden kasvaessa. Vuodenajan vaikutuksesta laatuominaisuuksiin on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.1.4.

6.1.3. Kuidun pituus ja leveys raakapuussa

Kuidun pituus puussa vaihtelee sen kasvukohdasta niin pysty- kuin leveyssuunnassa. Trakeidit muodostuvat jälsisolun jakaantumisessa. Jälsisolut ovat pisimmillään puun pinnassa ja lyhimmillään puun ytimessä. Myös kuidun leveys vaihtelee pituuden mukaisesti puun ytimestä kuoreen. [2] Halkaisijaltaan paksuissa puissa on siis enemmän pitkiä kuituja kuin ohuissa puissa. Käytännössä hiontaprosessissa raaka-puun sisäinen kuitupituuden ja -leveyden vaihtelu ei kuitenkaan vaikuta massan laatuun, sillä puu käytetään kuorettomana kokonaan hiontaan. Puun halkaisijalle on asetettu tietty väli, eikä puuntoimittajalle voida spesifioida tarkemmin puun mittasuhteita.

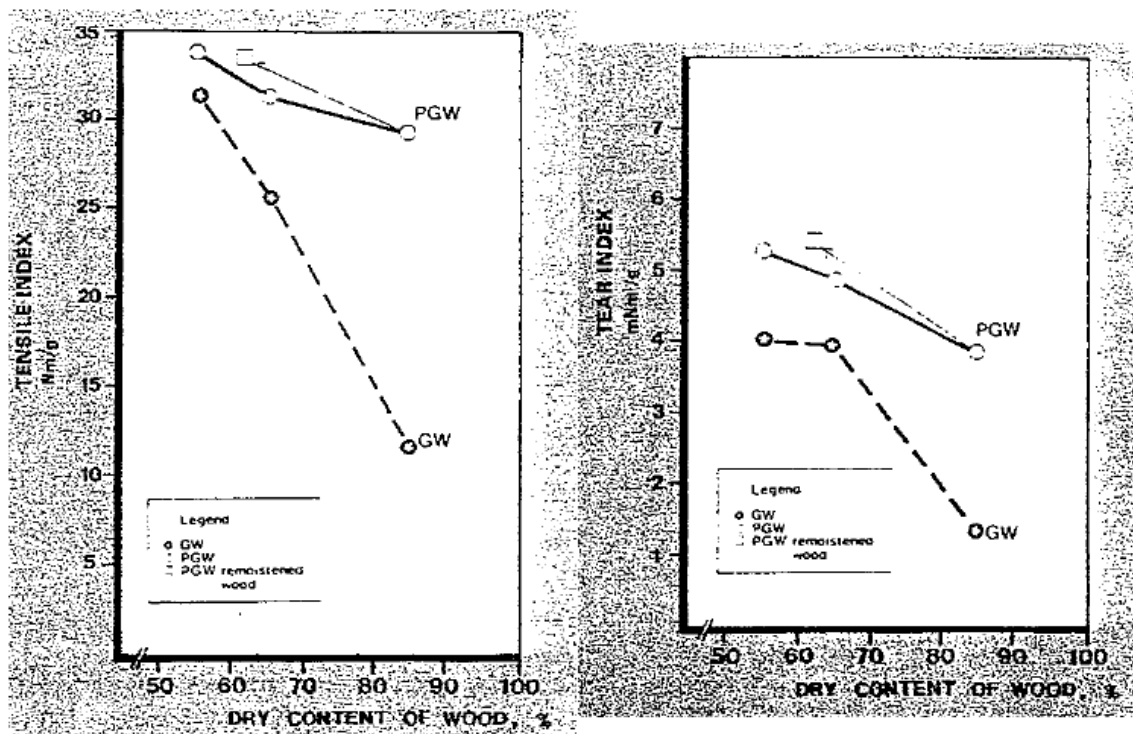
6.1.4. Vuodenaikavaihtelu

Yleisesti on tiedossa, että jäätynyt puu kuoriutuu huonosti ja hioutuu heikosti, jolloin laatuominaisuudet heikentyvät. Jäätyneen puun käyttäytymistä ei kuitenkaan ole tutkittu tieteellisesti paljoa. Tuominen *et al.* [55] tutkivat kuivan ja jäisen havupuun hioutumista ja siitä tuotetun hiokemassan lujuusominaisuuksia. Tutkimuksen mukaan havuhiokkeen lujuusominaisuudet laskevat merkittävästi puun kuivuessa tai jäätyessä. Jäätyneestä puusta valmistettu hiokemassa oli lujuusominaisuuksiltaan noin 15 – 30 % ja kuivasta puusta valmistettu hiokemassa jopa 30 % heikompaa kuin tuore puu. Puun uudelleen kostuttamisella päästiin tuorepuuta vastaaviin lujuusominaisuuksiin hioke-massassa, mutta optiset ominaisuudet kärsivät silti. Kuvassa 24 on esitetty tuoreesta ja jäisestä puusta tuotettujen hiokemassojen lujuusominaisuuksia CSF:n ollessa 100 ml.



Kuva 24. Tuoreesta (Fresh wood) ja jäisestä puusta (Frozen wood) valmistetun hiokemassan lujuusominaisuuksia. X-akselilla on sellu-painehiokemassan sekoitussuhde. A: Repäisyindeksi. B. Vetoindeksi. [55]

Jäätymisen lisäksi vuodenaikavaihteluissa on oletettavissa, että raakapuu kuivuu kesällä lämpötilan noustessa. Tällöin puun kuiva-ainepitoisuus kasvaa ja hiokkeen lujuusominaisuudet heikkenevät. Kosteuden laskiessa kuori tarttuu tiukemmin puuainekseen, jolloin kuorinta vaikeutuu, ja ligniinin pehmenemislämpötila nousee normaalitasoa korkeammaksi. Käytännössä painehiontaprosessin korkea lämpötila ja paine riittävät kuitenkin ligniinin pehmentämiseen ja näin raakapuun kuivumisen vaikutus lujuusominaisuuksiin jää pieneksi. Kuvasta 25 voidaan tarkastella kuiva-ainepitoisuuden vaikutusta repäisy- ja vetoindeksiin. Samasta kuvasta nähdään myös, kuinka uudelleenkostutettu puu saavuttaa painehiokkeen valmistuksessa lähes normaalitasoiset lujuusominaisuudet. [55]



Kuva 25. Vetoindeksi (Tensile index) ja repäisyindeksi (Tear index) kuivapitoisuuden funktiona. Kuvaajiin on merkitty laatikoilla uudelleen kostutetun puun PGW-hiokkeen lujuusominaisuudet. [55]

6.2. Prosessin muuttujat

6.2.1. Hiomakone

Hiomakoneen prosessimuuttujat voidaan jakaa kahteen ryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä ovat hiomakoneen muuttujat: Hiontapaine, -lämpötila, paine koneen sisällä, hiontakiven terävyys ja nopeus, suihkuvedet sekä moottoreiden energian ominaiskulutukset (EOK). Toiseen ryhmään kuuluvat raaka-aineperäiset muuttujat kuten puulajike, puun kosteuspitoisuus ja hiomakoneen täyttö. [22,5] Hiontakiven ominaisuuksia käsitellään seuraavassa kappaleessa tarkemmin. Puun kokoon ei voida laadun hallinnan kannalta Anjalan Paperitehtaan hiomolla vaikuttaa, sillä raaka-aineen toimituksesta

Anjalankosken tehtaille vastaa puun toimittaja, Stora Enson metsäpalvelut.

Paineistetun prosessin lämpötilaa voidaan teoriassa nostaa yli veden kiehumispisteen normaali-ilmanpaineessa suihkuvesien lämpötilaa säätämällä. Tämä ei kuitenkaan ole käytännössä mahdollista, sillä suihkuvedet ovat osa tehtaan vesikiertojärjestelmää ja lämpötilan muuttaminen vaikuttaisi siten koko järjestelmän lämpötaseeseen. [5] Tuotantomäärien tasaisuuden vuoksi paineen säätöä ei koneen sisällä tehdä. Tuotantonopeutta voidaan säätää paineantureilla, jolloin vaikutetaan enemmän tuotantonopeuteen kuin raaka-aineen kuituominaisuuksiin. Blechschmidtin ja Heinemannin [22] mukaan hiomakoneen prosessisuureista puun suhteellinen kosteus on kaikista tärkein. Kosteasta raaka-aineesta saadaan valmistettua korkealaatuista mekaanista massaa pienemmällä EOK:lla. Karojärvi *et al.* [5] mukaan EOK on myös verrannollinen hioke-massan CSF-lukuun sekä Tuovisen [23] tutkimuksen mukaan CSF-luvun muutoksen seurauksena myös vetoindeksiin. Kaavoissa 7 ja 8 on esitetty yhtälöt hiomakoneen EOK:n laskemiseksi. Kuvassa 26 on esitetty hiomakoneen EOK:n suhde CSF-lukuun ja kuvassa 27 vetoindeksin suhde hiomakoneen EOK:hon ja CSF-lukuun.

$$Q_{PGW} = k \frac{P_{PGW}}{EOK_{PGW}} \quad (7)$$

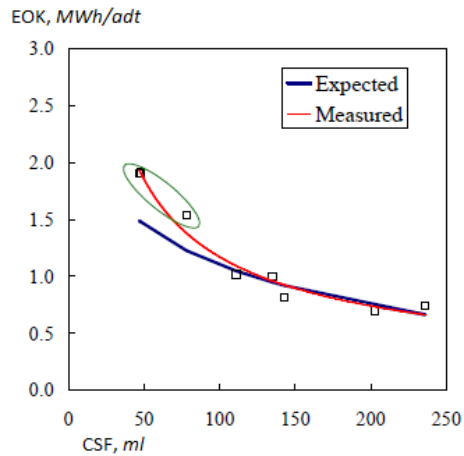
Jossa	Q_{PGW}	Tuotantonopeus hiomakoneella (t/h)
	P_{PGW}	Hiomakoneen moottorin teho (MW)
	EOK_{PGW}	Hiomakiven energian ominaiskulutus (MWh/t)

Tästä saadaan ratkaistua EOK.

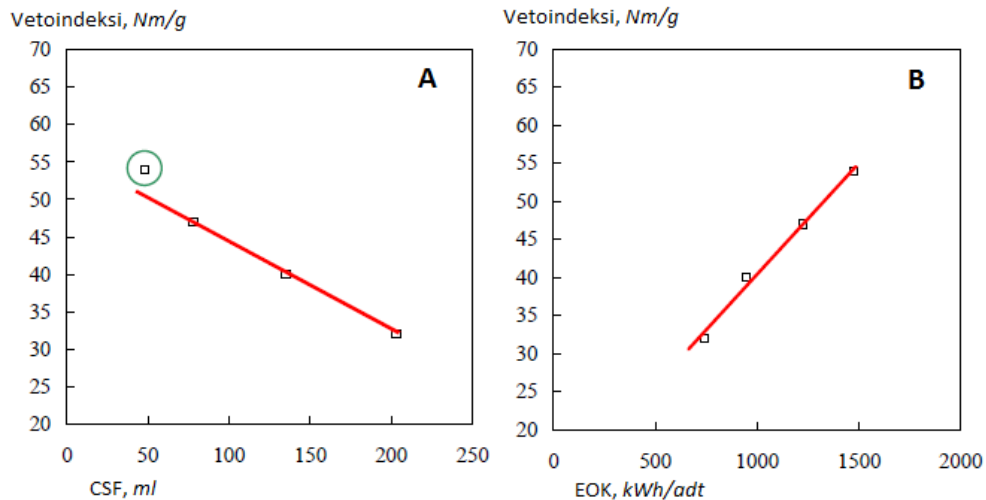
$$EOK_{PGW} = k \frac{P_{PGW}}{Q_{PGW}} \quad (8)$$

Yhtälöissä 4 ja 5 esiintyvä kerroin k kuvaa moottorin hyötysuhdetta, ja sen arvo vaihtelee 0,7 ja 0,9 välillä. Moottoria ei voida ajaa jatkuvasti täydellä teholla asetettujen laa-

tuvaatimusten ja hiomakoneen operointiasetusten takia. k -arvoa säädetään halutun CSF:n, hiomakiven terävyyden, käytössä olevan koneen säätötavan sekä mekaanisen hiontatehokkuuden mukaan. [5]



Kuva 26. Hiomakoneen EOK CSF-luvun funktiona. [23]



Kuva 27. A: Vetoindeksi CSF:n funktiona. B: Vetoindeksi EOK:n funktiona. [23]

Tutkimuksissa on osoitettu puun olevan viskoelastista materiaalia, jonka mekaaniset hioutumisominaisuudet ovat suoraan riippuvaisia mekaanisen rasituksen taajuudesta.

[23,48,49,50,63] Elastiset ominaisuudet voivat rajoittaa lujuusominaisuuksia, vaikka kuitu-kuitu -sidokset olisivat vahvat, jolloin kuitu voidaan vetää ulos massasta ehjänä. Leikkausviiveteorian (shear-lag) mukaan voidaan määrittää kuidulle kriittinen pituus, joka toimii rajana lujuusominaisuuksien maksimiarvolle. Teoria johtaa lopulta kuituihin siirrettyyn energiaan hionnassa, jolloin EOK:n pysyessä samana veto- ja repäisylujuutta voidaan nostaa hiomakiven kehänopeutta laskemalla. [23,48,49,50,63] Shear-lag -malli on kuitenkin tarpeettoman monimutkainen yksittäisten laatuominaisuuksien kehittämiin. Siten sen tarkempi tutkiminen on tämän diplomityön yhteydessä hyödytöntä.

6.2.2. Hiomakivi

Hiomakivi taivekartongin valmistukseen käytettävillä painehiomakoneilla on valmistettu keraamisesta materiaalista. Kiven pinnan kunnolla ja teräyksellä on suuri vaikutus painehiokemassan laatuun. Kiven rakenne on valittava hiottavan puulajin ja valmistetavan paperi- tai kartonkilajin mukaan. Lisäksi urakuvio voidaan valita halutun tuotteen laadun parantamiseksi ja raaka-aineen mukaan. Hiomakiven valinnassa otetaan huomioon hiontarakeiden tyyppi, niiden koko ja kokojakauma, rakeiden tiheys pinta-alaa kohden sekä rakeiden välissä oleva sideaine. Raekoko ilmaistaan mesh-luvulla, joka kertoo montako lankaa on ollut tuumalla seulottaessa rakeita. Mesh-lukuja voidaan myös yhdistää, jolloin hiokkeen laatua voidaan esimerkiksi lujuusominaisuuksien osalta parantaa. [5,6,3,16] Taulukossa 3 on esitetty esimerkkejä freeness-luvuista ja mesh-kokoista eri tuotteille. Taulukon arvoista voidaan päätellä, että mesh-koon kasvaessa hiokemassan CSF laskee.

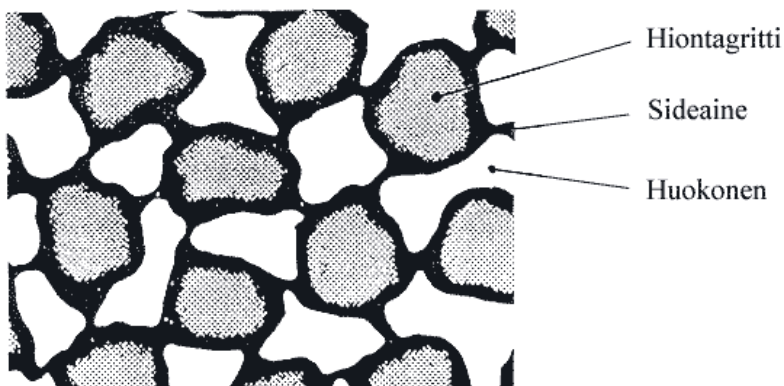
Taulukko 3. Freeness-lukuja ja mesh-kokoja eri tuotteille. [3]

<i>Tuote</i>	<i>Freeness (CSF), valmis massa, ml</i>	<i>Raekoko, mesh</i>
<i>Kartonkiahioke</i>	250 – 350	36 – 54
<i>Sanomalehtiahioke</i>	80 – 120	54 – 70
<i>Aikakauslehtiahioke</i>	40 – 60	60 – 80

Suomessa painehiontakoneilla on yleensä käytössä kiviä, jotka on pinnoitettu alumiinioksidilla. Toinen hiomaraeityyppi on piikarbidi. Alumiinioksidilla saadaan parempi sidoslujuus hiokkeeseen, pidempi teroitusväli ja alhaisempi energian ominaiskulutus hiomakoneelle kuin piikarbidia käytettäessä. [5,3]

6.2.2.1. Teräys

Hiomakivi vaatii jatkuvaa huoltoa tuotannon laadun ylläpitämiseksi. Kiven pinta muodostuu hiontaraeselementeistä, jotka voidaan puolestaan jakaa hiontarakeisiin, sideaineeseen ja huokosiin. Hiomakiven keramiikan rakenne on esitetty kuvassa 28. Hiontaprosessin aikana puusta irtaantuu hienojakoista ainesta, joka täyttää huokosia ja näin mataltaa ja tylsyyttää grittejä. Kun laatu on laskenut asetetulle alarajalle, hiontakivi terätään joko suihkuvesiteräyksellä tai rullateräyksellä. [5,6,3]



Kuva 28. Hiontakiven keramiikan rakenne. [3]

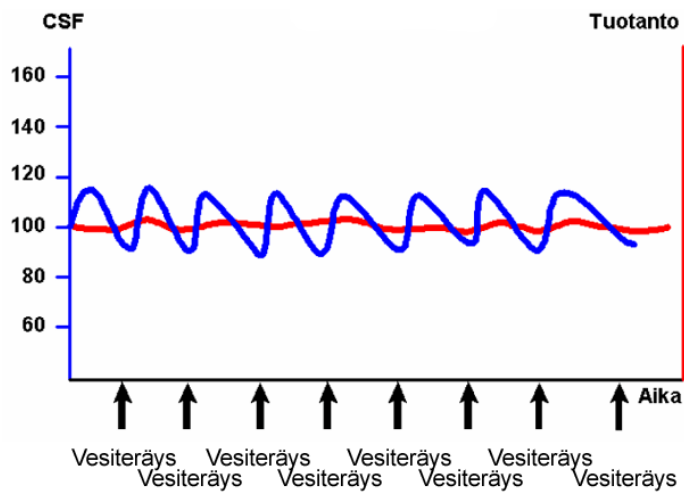
6.2.2.2. Suihkuvesiteräys

Suihkuvesiteräyksellä poistetaan hiomakiven pinnasta siihen kiinnittynyttä ylimääräistä materiaalia sekä kulunutta sideainetta ja huonokuntoisia grittejä. Vettä suihkutetaan oskilloivalla liikkeellä 800-2400 barin paineella hiomakiven pintaan. Vesiteräys voidaan tehdä tuotannon aikana hyvällä toistettavuudella, jolloin vaihtelut tuotetun massan

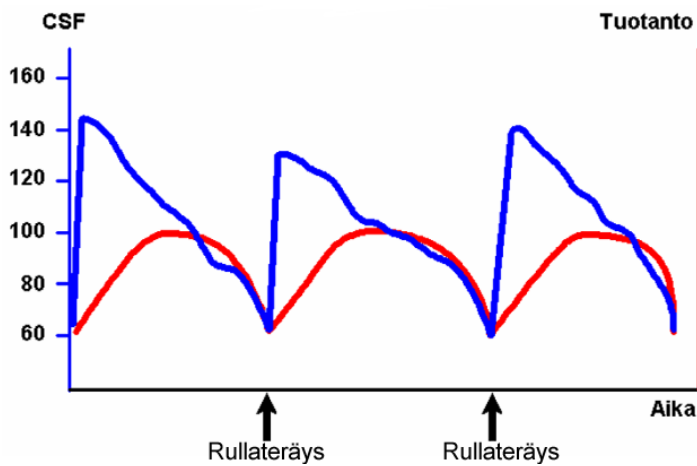
laadussa ovat pienempiä kuin rullateräyksessä. Massan CSF-lukua ja EOK:ta voidaan hallita helpommin vesiteräyksen avulla, ja itse prosessin aikana sillä on hiontaa parantava vaikutus. Suihkuvesiteräys ei kuitenkaan aina riitä, sillä grittien särmät kuluvat ja pyöristyvät hiontaprosessin mukana. Hiomakivi kunnostetaan tällöin rullateräyksellä. [5,3]

6.2.2.3. Rullateräys

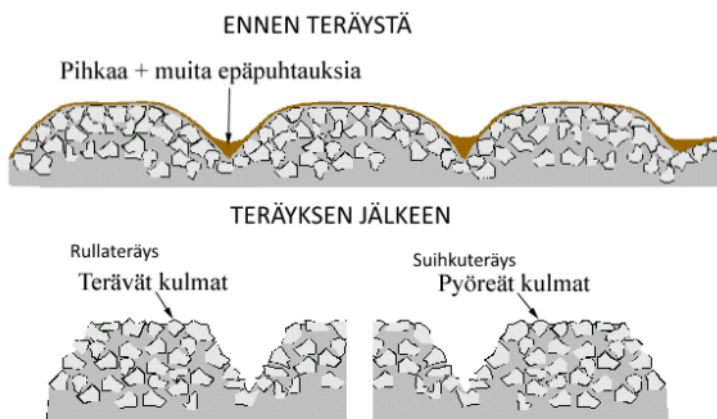
Rullateräyksessä hiomakivi teroitetaan mekaanisesti uritetulla teroitusrullalla. Tällä menetelmällä on tarkoitus poistaa kiven pinnasta kuluneita hiomaraakeita ja paljastaa niiden alta uusia, ehjiä rakeita murtamalla hiomakiven rakennetta ja grittien sidosainetta. Samalla pinnasta saadaan poistettua ylimääräistä puuainesta ja pienennettyä hiontapinta-alaa. Tällä saadaan nostettua hiontapainetta ja sen seurauksena massan CSF-arvo kasvaa. Rullateräystä voidaan säätää muuttamalla teroitusrullan harjakulmaa, -tiheyttä ja teroitussyvyyttä. Rullat on numeroitu niin, että mitä suurempi luku on, sitä tiheämmin uria on yhdellä tuumalla. Se puolestaan tarkoittaa, että massan pitkäkuituus laskee, jolloin myös lujuusominaisuudet laskevat. Rullateräys on suositeltavaa suorittaa vähintään neljän viikon välein ja suihkuvesiteräys 2-7 päivän välein. [5,3] Rulla- ja suihkuvesiteräyssykkien vaikutus CSF-lukuun ja tuotannonmäärään EOK-ajolla on esitetty kuvissa 29 ja 30. Lisäksi kuvassa 31 on esitetty hiomakiven pinta ennen ja jälkeen teräyksen.



Kuva 29. CSF verrattuna tuotantoon vesiteräyssyklien välillä EOK-ajolla. [3]



Kuva 30. Freeness verrattuna tuotantoon rullateräyssyklien välillä EOK-ajolla. [3]



Kuva 31. Hiomakiven pinta ennen ja jälkeen teräyksen. [3]

6.2.3. Rejektin käsittely

Rejektin käsittelyä voidaan ohjata jauhatuksen määrällä ja jauhatusintensiteetillä. Jauhatuksen määrää voidaan parhaiten kuvata energian ominaiskulutuksella (EOK, kaava 5). Jauhatusintensiteetti lasketaan EOK:n ja jauhatusiskujen suhteena. [29] Jauhatusintensiteetti kiekkojauhimelle voidaan laskea kaavan (9) mukaan.

$$e = \frac{EOK}{n} \quad (9)$$

Jossa	e	Jauhatusintensiteetti osumaa kohti (J/kg)
	EOK	Kiekkojauhimen energian ominaiskulutus (J/kg)
	n	Jauhatusiskujen lukumäärä (-)

Jauhatusiskujen lukumäärä lasketaan puolestaan yhtälöstä (10). [31]

$$n = Nh\omega \frac{r_1+r_2}{2} \tau \quad (10)$$

Jossa	τ	Viipymäaika (s)
	h	Vakio yksikiekkoiselle jauhimelle = 1
	r_1	Kiekon sisempi säde (m)
	r_2	Kiekon ulompi säde (m)
	ω	Pyörimisnopeus (1/s)
	N	Teräspuomien määrä kaaren yksikköpituuutta kohden

Viipymäajan laskeminen on esitetty kaavassa (11). [30]

$$\tau = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{v} dr = \frac{r_2+r_1}{v} \quad (11)$$

Massan radiaalinopeudelle kiekkojauhimessa pätee Milesin [29] mukaan yhtälö (12).

$$\frac{dv}{dr} = \frac{r\omega^2}{v} - a \frac{\mu_r}{\mu_t} \frac{EOK \cdot c}{\omega(r_2^2 - r_1^2)} = 0 \quad (12)$$

Jossa	μ_r	Massan ja metalliterän välinen kitkakerroin säteen suhteen (-)
	μ_t	Massan ja metalliterän välinen kitkakerroin tangentin suhteen (-)
	v	Massan säteen suuntainen nopeus kohdassa r (m/s)
	a	Vakio yksikiekkoiselle jauhimelle = 2
	c	Sakeus kohdassa r (-)
	r	Säde (m)

Tästä voidaan ratkaista yhtälössä (13) esitetty EOK.

$$EOK = \frac{\mu_r}{\mu_t} \cdot \frac{r\omega^3(r_2^2 - r_1^2)}{v \cdot a \cdot c} \quad (13)$$

Yhdistämällä yhtälöt (9), (10), (11) ja (13) saadaan jauhatusintensiteetiksi yhtälö (14).

$$e = \frac{2 \cdot EOK}{N\omega(r_1 + r_2)\tau} = \frac{-2 \cdot EOK \cdot v}{N\omega(r_2^2 - r_1^2)} = 2 \frac{\mu_r}{\mu_t} \cdot \frac{r\omega^2(r_1 - r_2)}{N \cdot a \cdot c \cdot \tau^2} \quad (14)$$

Yhtälöstä 14 nähdään, että EOK on jauhatuksen tärkein prosessisuure syötettävän massan laadun, määrän ja sakeuden lisäksi. Korkea EOK ja matala intensiteetti antavat yhdessä hyvän tikkureduktion ja lujuusominaisuudet massalle. [30] Jauhatuksessa terän kehänopeuden liiallinen nostaminen aiheuttaa intensiteetin kasvua, kuitujen katkeamista ja hienoaineen muodostumista. Liian hidas teränopeus puolestaan nostaa EOK:ta ja siten myös CSF-lukua liian korkealle. [29, 24]

7. Painehiokkeen laadunhallinta

7.1. Raaka-aine

Raaka-aineen ominaisuuksiin hiontaprosessissa ei ole tällä hetkellä mahdollisuutta vaikuttaa Stora Enso Anjalankosken tehtailla. Kesäisin puun kuivumista voidaan ehkäistä vesisuihkuilla varastoalueella. Talviaikaan jäätyminen estämiseksi voitaisiin rakentaa sulatuskuljetin, joka voitaisiin asentaa katkaisupöydän ja kuorimarummun välille kuorimolla. Olevassa olevien prosessilaitteiden vuoksi ainoa toimiva vaihtoehto kuljettimelle on kuumavesisuuttimilla varustettu kuljetin. Vesi voidaan ottaa kuumavesikierrosta tai muusta lähteestä, jolloin lämmittämiseen käytetään höyryä. Hihna on hieman nostetussa kulmassa ja puut kulkevat sitä pitkin suhteellisen hitaasti verrattuna normaaliin kuljetushihnaan. Sulatus tapahtuu hihnan yläpuolella olevien vesisuuttimien avulla, jolloin puun pinta ja samalla myös runkoa saadaan sulatettua. [60] Kalaoja [62] tutki diplomityössään sulatuskuljettimen toimintaa ja sen vaikutusta puuhun ja kuorintatulokseen. Hän havaitsi puun jäätyvän suhteellisen nopeasti sulatuksen jälkeen, jolloin sulatus auttaa varsinaisesti vain kuoren poistoon eikä enää hiontaan.

7.2. Hiontaprosessi

Seuraavaksi käsitellään hiontaprosessin suureita, joilla voidaan vaikuttaa massan laatuominaisuuksiin.

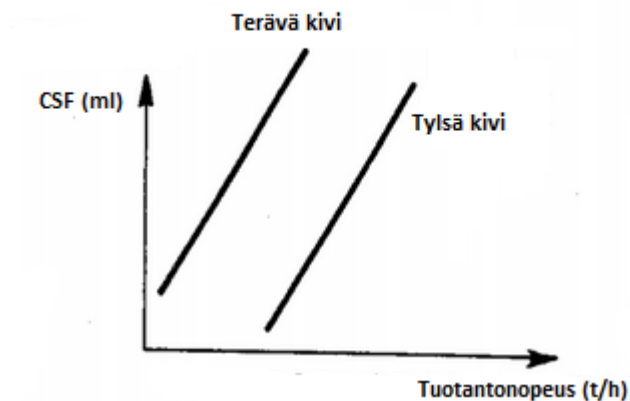
7.2.1. Hiomakoneen prosessisuureet

Hiomakoneen laatuun vaikuttavat tekijät voidaan jakaa lyhyen ja pitkän aikavälin muutujiin. Lyhyellä aikavälillä vaihtelua voivat aiheuttaa raaka-aine ja erot hiomakoneen kahden uunin välillä. Pitkällä aikavälillä hiokkeen laatuun voidaan vaikuttaa kiven teräyksellä, tyyppillä sekä teräystavalla. [5,10]

7.2.1.1. Kuormitussäädöt

Hiontatapahtumaa voidaan ohjata hiontakiven moottorin tehoa, anturan nopeutta tai EOK:ta muuttamalla. Tehonsäädössä teho hiomakoneelle pidetään vakiona, jolloin prosessin säätö tapahtuu anturan liikettä säätävällä hydraulipaineventtiilillä. Uuninvaihdossa hiomakoneen teho puolittuu automaattisesti kompensoidakseen vain yhdellä uunilla tapahtuvaa hiontaa. [5,10]

Anturan nopeussäädöllä asetetaan anturalle vakionopeus, jota ohjataan moottorin hiontatehon avulla. Vakionopeudella liikkuvan anturan saavuttaessa hiomapintaa tuotantonopeus kasvaa. Tämän riippuvuudesta kivenalusmassan laatuominaisuuksiin ovat raportoineet Blomqvist *et al.* [36] ja Tuovinen [23,37]. Ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 32.

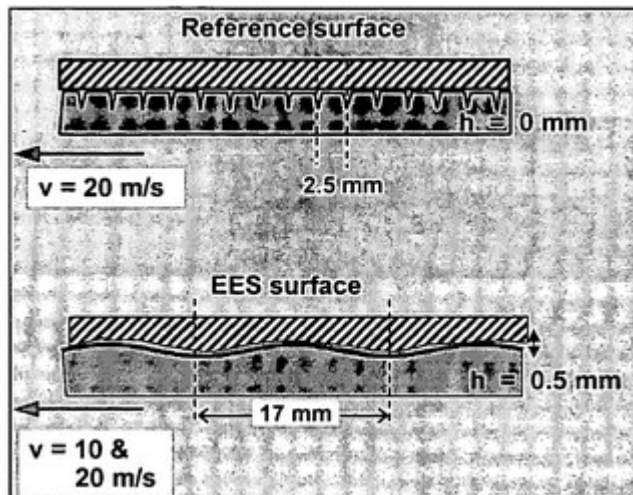


Kuva 32. Tuotantonopeuden vaikutus CSF-lukuun terävällä ja tylsällä kivellä. Suomen-nettu. [36]

7.2.1.2. Hiomakiven säädöt

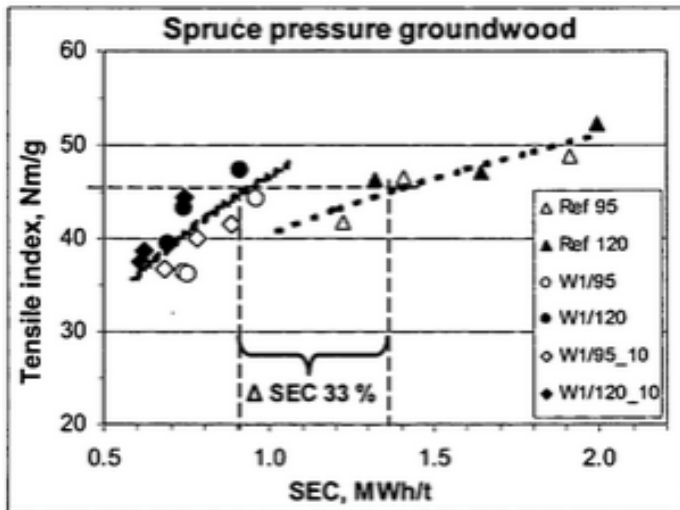
Kuten jo aiemmin todettiin, rullateräyksellä voidaan vaikuttaa hiokemassan laatuun harjakulman-, tiheyden sekä urien syvyydellä. Nämä teroitusominaisuudet perustuvat yleensä kokemukseen, jolloin työn tulos ei välttämättä ole aina sama eri teroittajilla.

Suomessa yleisin käytetty harjakulma on 28° , mutta suuremman kulman käytöstä on muualta kokemusta. [10] Karojärvi *et al.* [5] mukaan 45° harjakulmalla voi olla mahdollista saavuttaa suurempi pitkäkuituus ja siten myös paremmat lujuusominaisuudet samalla CSF-luvulla. Perinteisen keraamisen hiontapinnan lisäksi uudenlaisia energiatehokkaampia hiontapintoja on tutkittu. Björkqvist ja Lucander [40] osoittivat tutkimuksessaan, että aaltoilevan kuvion lisääminen perinteiseen hiontapintaan voi vähentää EOK:ta jopa 20 prosenttia. Tätä teknologiaa kutsutaan energiatehokkaaksi pinnaksi (Energy-efficient surface, EES). Kuvassa 33 on esitetty perinteisen hiomapinnan ja EES-pinnan ero.

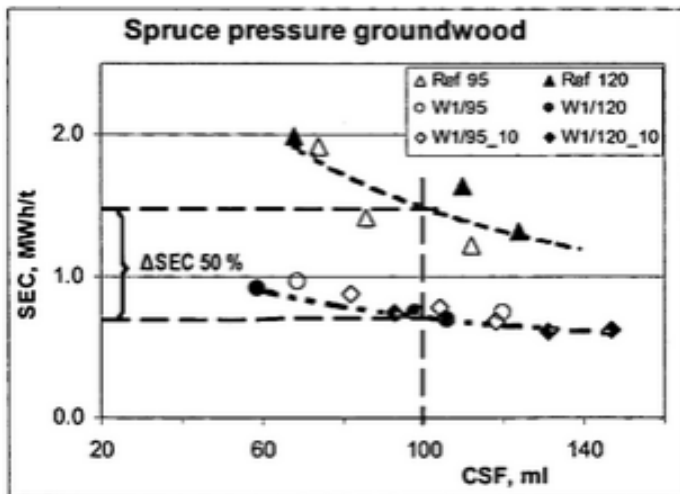


Kuva 33. Yllä perinteinen hiomapinta (28° kulmalla) ja alla EES-pinta. [41]

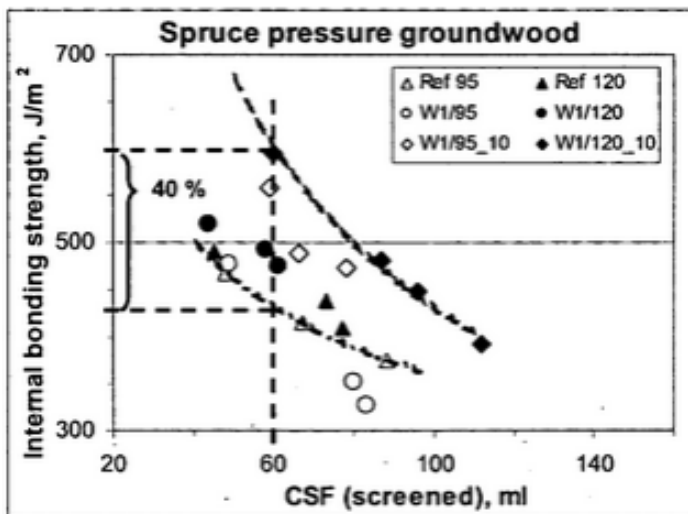
Björkqvist *et al.* [41] raportoivat patentissaan jopa 30 prosentin EOK:n laskun EES-pintaa käyttämällä, kun vetoindeksitavoite oli sama kuin perinteisellä pinnalla. Tämä on nähtävissä kuvassa 34. Kuvasta 35 nähdään, että samaan CSF-lukuun päästään jopa 50 prosenttia pienemmällä EOK:lla. Tutkimuksen mukaan myös sopivissa prosessiolosuhteissa palstautumislujuutta pystyttiin laboratorioskaalassa nostamaan jopa 40 prosenttia ajettaessa samaa CSF-lukua eri pinnoilla. Palstautumislujuus CSF-luvun funktiona on esitetty kuvassa 36.



Kuva 34. Vetoindeksi EOK:n (SEC) funktiona. Ref 95 = Painehionta perinteisellä hiomapinnalla, W1/95 = Painehionta EES-pinnalla. [41]



Kuva 35: EOK:n CSF-luvun funktiona. Ref 95 = Painehionta perinteisellä hiomapinnalla, W1/95 = Painehionta EES-pinnalla. [41]

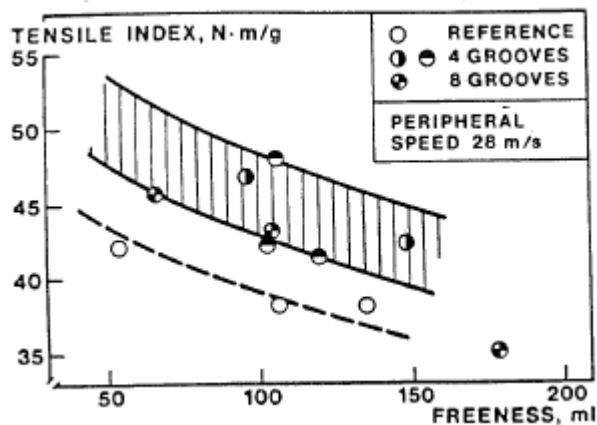


Kuva 36: Palstautumislujuus CSF-luvun funktiona. Ref 95 = Painehionta perinteisellä hiomapinnalla, W1/95 = Painehionta EES-pinnalla. [41]

Salmi [44] tutki EES-pinnan toimintaa ja tehokkuutta verrattaessa perinteiseen hiomapintaan väitöskirjassaan *What should the grindstone surface look like to produce pulp with least energy?*. Hän osoitti EES-pinnan olevan jopa liian tehokas, jolloin puuhun kohdistuva rasitus vaikuttaa liian syvälle puuhun ja energiaa menee hukkaan. Ratkaisuksi hän ehdottaa EES-pinnan ja perinteisen hiomapinnan hybridiä, jolloin rasitus on dynaamisempaa ja näin myös energiatehokkaampaa. Samaa ajatusta ovat käyttäneet Björkqvist [45] ja Tuominen [46] patenteissaan. Hybridipinnan käyttö ei kuitenkaan ole vielä soveltuva teolliseen mittakaavaan.

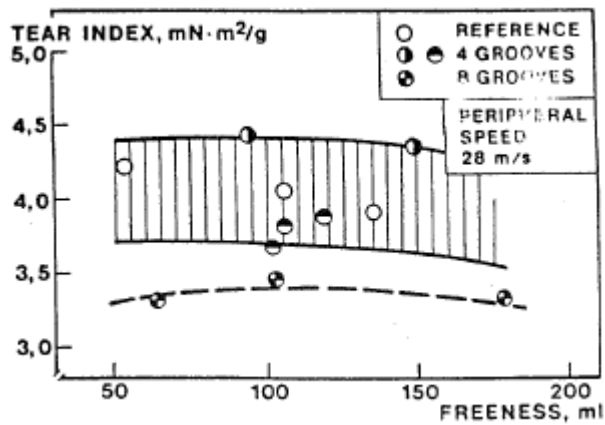
Yleisimmät tavat hallita hiomakiveä ovat kiven sorvaaminen eli uudelleen urittaminen ja rullateräys. Urien määrä, niiden syvyys sekä kulma tietyllä hiomakiven kehänopeudella vaikuttavat saavutettaviin lujuusominaisuuksiin. Urien tiheys ja urien välissä olevan tasaisen alueen koko vaikuttaa CSF-lukuun. Mitä pienempi tasainen osa eli kannas on, sitä kovempi paine puuhun kohdistuu ja siten myös CSF kasvaa. [5] Toisaalta liian tiheet urat jättävät kannaksen liian pieneksi, jolloin niiden reunat murtuvat ja aiheuttavat laadun heikentymistä [16] Urien syvyyden kasvattaminen vaikuttaa massan siirtoon

kiven pinnalta. Suurempi vesimäärä pinnalla siirtää paremmin hiottua massaa kiven pinnalta pois. Kulman kasvattaminen perinteisestä 28 asteesta 45 asteeseen lisää pitkäkuituosuutta ja parantaa lujuusominaisuuksia samalla CSF-tasolla. [5] Tämän todistivat Haikkala et al. [56] tutkimuksessaan, jossa he havaitsivat normaalilla kehänopeudella (28 m/s) vetoindeksin kasvavan neljällä uralla hiottaessa, kun referenssipisteinä käytetään sileää kiven pintaa. Kahdeksalla uralla hiottaessa saavutetaan referenssidataa parempi vetoindeksi, joka on kuitenkin pienempi kuin neljällä uralla saavutettu tulos. Tämä on nähtävissä kuvasta 37.

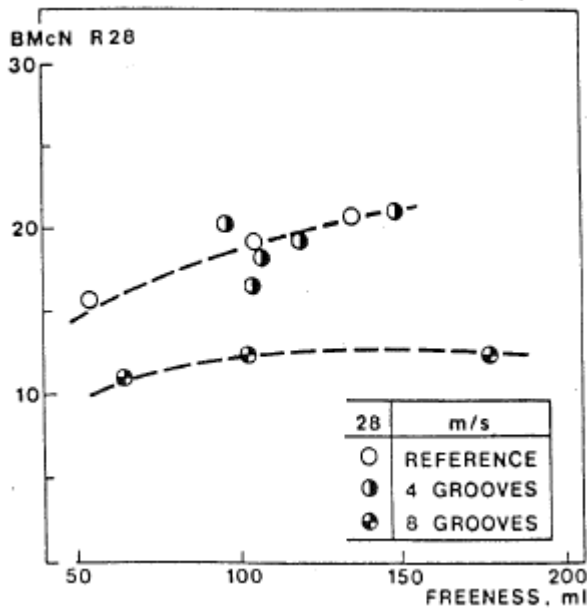


Kuva 37. Vetoindeksi CSF:n funktiona sileällä (reference), neljällä uralla (4 grooves) ja kahdeksalla uralla (8 grooves) hiottaessa. [56]

Kahdeksalla uralla hiottaessa vetolujuus pieneni neljään verrattaessa. Kahdeksan uran käyttäminen hiomiseen heikentää selvästi repäisyindeksiä ja pitkäkuituosuutta hioke-massassa. Repäisyindeksi ja pitkäkuituosuus eri uramäärille on esitetty kuvissa 38 ja 39. [56]



Kuva 38. Repäisyindeksi CSF:n funktiona eri pinnoilla hiottaessa. [56]



Kuva 39. Bauer-McNett -pitkäkuituosuudet prosentteina CSF:n funktiona. Kuvaajasta on poistettu hitaamman pyörimisnopeuden (9 m/s) mittauspisteet. [56]

Tämän tutkimuksen perusteella voidaan siis todeta, ettei kahdeksan uran käyttämisestä hionnassa ole hyötyä, ja että neljän uran käyttämisellä on selvä positiivinen vaikutus vetoindeksiin. Pitkäkuituisuus ja repäisyindeksi jäävät samalle tasolle sileän pinnan kanssa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hiomakiven pinnassa on syytä pitää jatkuvasti neljän uran kuviota hiokkeen lujusominaisuuksien takia. Vesiteräys toimii täl-

löin puhdistavana ja pinnan muotoja ylläpitävänä toimenpiteenä.

7.2.1.3. Hionnan ajomalli

Bergström et al. [57] esittivät alkuperäisen mallin hiomakoneen tuotantonopeudelle, joka ratkaistaan hiomakiven terävyyden ja koneen tehon tulona. Paulapuro yksinkertaisti yhtälöä olettamalla kiven kehänopeuden vakioksi kaavassa 15 esitettyyn muotoon. [58]

$$Q = S \cdot P^{\alpha} \quad (15)$$

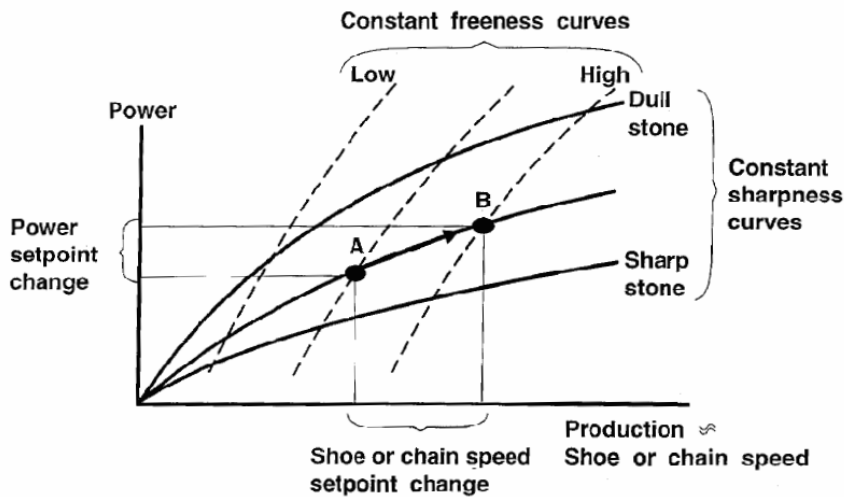
Jossa	Q	Tuotantonopeus
	S	Hiomakiven terävyys
	P	Hiontateho
	α	Kivikohtainen vakio

Paulapuro [59] esitti kivikohtaiseksi vakion arvoksi 1,4-1,7. Hänen mukaansa α :n arvo kasvaa kiven tylsistyessä. Kuten tuotantonopeuden laskennassa voidaan vastaavasti myös hiokemassan laatusuureet esittää yhtälön 16 mukaan. [58]

$$Q_H = K \cdot S^a \cdot P^b \quad (16)$$

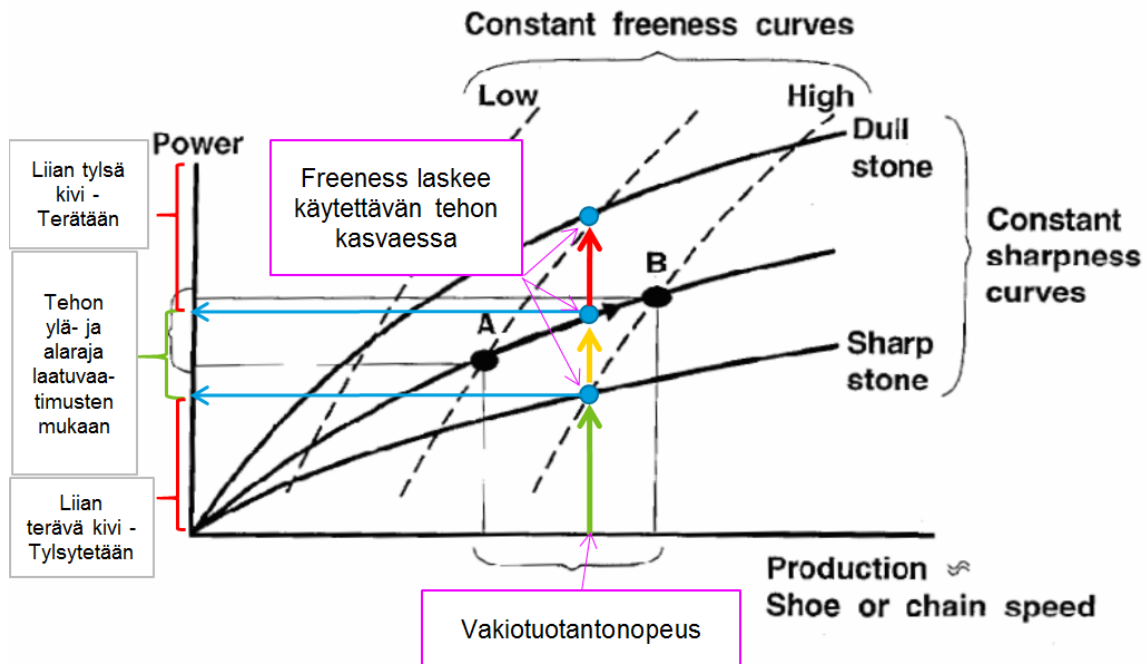
Jossa	Q_H	Hiokemassan laatusuure (CSF, vetoindeksi, jne.)
	K,a,b	Vakioita

Hiomakoneen toimintamalli perustuu yhtälöihin 15 ja 16. Laskettujen arvojen pohjalta voidaan muodostaa hiomakoneen toimintakäyrästä, josta on esitetty esimerkki kuvassa 39. [5]



Kuva 39. Hiomakoneen graafinen toimintakäyrästä CSF arvon mukaan. [5]

Kuvan 39 mukainen toimintakäyrästä voidaan muodostaa myös muiden lujuusominaisuuksien mukaan. Juuri terätyn kiven arvot ovat kuvaajan oikeassa reunassa. Kiven tylsistyessä siirrytään kuvaajassa vasemmalle. Esimerkiksi vakioteholla toimittaessa hiokkeen freeness ja tuotantonopeus laskevat. Vakiotuotantonopeudella ajettaessa puolestaan freeness laskee ja tehonotto kasvaa. Toiminta-alue ja teroitussyklit eivät kuitenkaan aina noudata ennustettua kaavaa, jolloin laadunhallinta on vaikeaa. On kuitenkin selvää, että toimintakäyrästä ja sen asettamia rajoja seuraamalla voidaan hiokkeen laatu pitää varsin hyvin hallinnassa. [5] Kuvassa 40 on esitetty vakiotuotantonopeudella ajettavan hionnan toimintakäyrästä ja ohjeita sen lukemiseen.



Kuva 40. Vakiotuotantonopeudella ajettavan hiontaprosessin toimintakäyrästä ja te-
räysrajojen asettaminen. Toimintakäyrästä lähde [5].

7.2.3. Panielajittimen säädöt

Tässä kappaleessa oletetaan, ettei painelajittimen rakenteeseen tai massaominaisuuksiin voida tehdä muutoksia, jolloin ohjaussuureiksi jäävät ajoparametrit. Niitä ovat virtausnopeus ja rejektisuhde. Rejektisuhde on painelajittimen tärkein operointiparametri. Sillä ohjataan rejektivirran suuruutta ja siten myös erottelutehokkuutta. Rejektisuhde voidaan laskea joko massa- (kaava 17) tai tilavuusvirran mukaan (kaava 18). [25,38]

$$RR_M = \frac{\dot{m}_R}{\dot{m}_F} = \frac{c_R \dot{V}_R}{c_F \dot{V}_F} \quad (17)$$

Jossa	\dot{V}_R	Rejektin tilavuusvirta (m ³ /s)
	\dot{V}_F	Syötön tilavuusvirta (m ³ /s)
	\dot{m}_R	Rejektin massavirta (kg/s)
	\dot{m}_F	Akseptin massavirta (kg/s)

c_R	Rejektin sakeus (kg/m ³)
c_F	Akseptin sakeus (kg/m ³)

$$RR_V = \frac{\dot{V}_R}{\dot{V}_F} \quad (18)$$

Rejektisuhteiden pitäminen vakiona vaatii siis tunnetun tilavuusvirtauksen sekä siihen sopeutetun massan syöttösakeuden.

Rejektin sakeutumiskertoimen laskukaava (RTF) on esitetty kaavassa 19. Painelajittimen toiminta perustuu tähän kertoimeen: Mitä suurempi kerroin on, sitä selektiivisempi lajittelu on. Toisaalta korkea RTF-kerroin tarkoittaa myös, että lajittelukapasiteetti on laskenut. [25]

$$RTF = \frac{RR_M}{RR_V} = \frac{c_R}{c_F} \quad (19)$$

7.2.4. Rejektin jauhatuksen prosessisuureet

Painehiokkeen valmistuksessa syntyneen rejektin jauhatusta voidaan ohjata jauhimen ohjaussäädöillä. Työssä oletetaan kiekkojauhimen terien olevan kokemuksella hyvin valittuja, eikä niitä tulla vaihtamaan toisenlaisiin. Tällaisessa tapauksessa voidaan jauhatuksen määrää arvioida energianominaiskulutuksella (EOK, kaava 20) ja jauhatetun massan ominaisuuksia ominaissärmäkuormalla (OSK, kaava 21). [42,43]

$$EOK_{jauhin} = \frac{P_t - P_n}{F \cdot c} = \frac{P_e}{F \cdot c} = \frac{P_e}{m} \quad (20)$$

Jossa	P_t	Jauhimen kokonaisteho (kW)
	P_n	Jauhimen häviöteho (kW)
	P_e	Jauhimen nettoteho (kW)

F	Virtaus jauhimen läpi (l/min)
c	Massan sakeus (%)

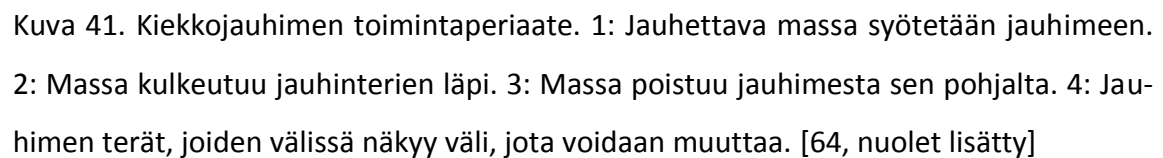
$$OSK = \frac{P_t - P_n = P_e}{Z_r \cdot Z_{st} \cdot l \cdot n = L \cdot n = L_s} \quad (21)$$

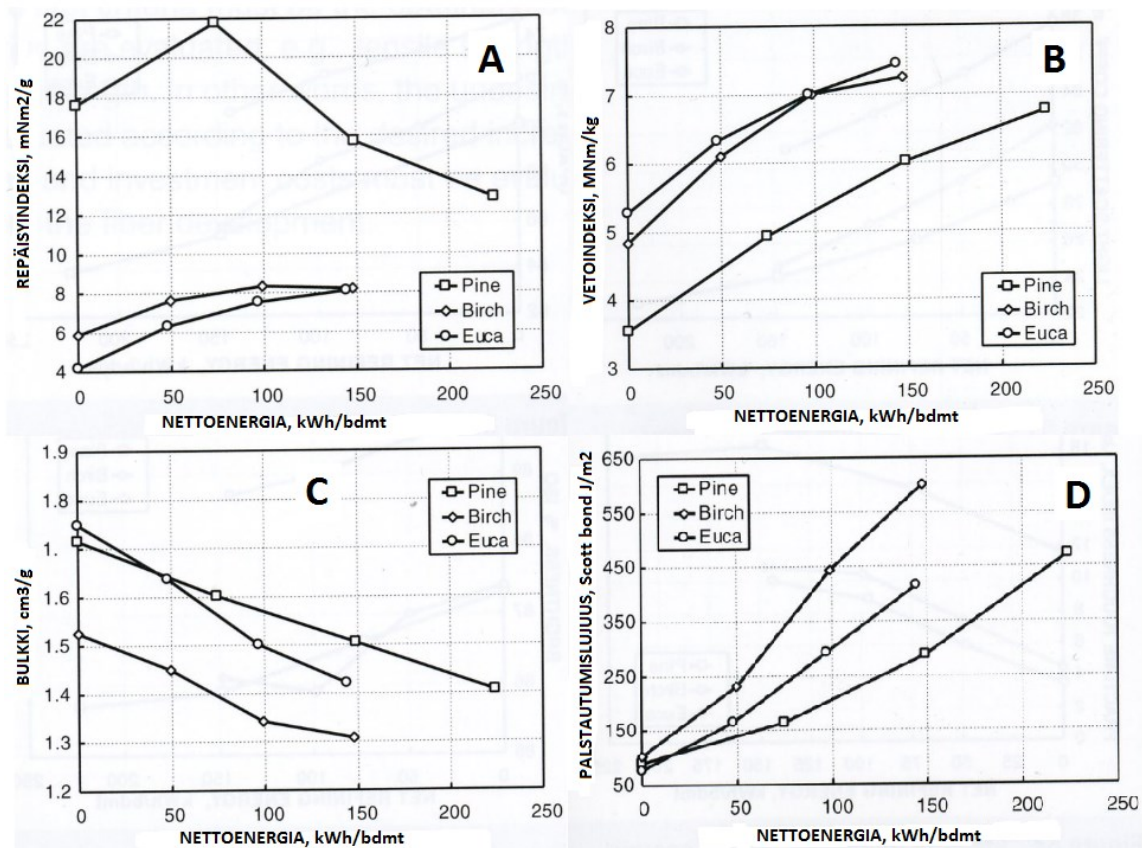
Jossa	Z_r	Roottorin terähampaiden lukumäärä
	Z_{st}	Staattorin terähampaiden lukumäärä
	l	Vastakkaisten terähampaiden kontaktipituus (km)
	n	Jauhimen pyörimisnopeus, kierrosluku (1/s)
	L	Jauhimen teräsärmien kokonaispituus (km)
	L_s	Teräsärmien leikkausnopeus (km/s)

Näistä yhtälöistä nähdään, että jauhatukseen voidaan vaikuttaa nettoenergian syötöllä, massan sakeudella, jauhimen pyörimisnopeudella sekä massavirtauksella terän ominaisuuksien pysyessä vakiona. Jos jauhatuksen käytettävää tehoa pyritään pitämään vakiona ja sakeus laskee, niin EOK nousee. Yhtälön (9) mukaan EOK:n kasvaessa myös jauhatusintensiteetti nousee. Liian korkea intensiteetti puolestaan katkoo kuituja, jolloin myös massan lujuusominaisuudet heikentyvät. [24] Näin ollen on äärimmäisen tärkeää pitää jauhatuksen syötettävän massan sakeus vakiona.

Korkeasakeusjauhatusta vaatii korkean jauhatusintensiteetin, sillä korkea sakeus hidastaa jauhimen sisäistä pyörrevirtausta ja massa saattaa paakkuuntua. Jauhatusintensiteetti vaikuttaa myös jauhatusasteeseen. Lumiaisen [41] mukaan CSF-luku laskee jauhatusintensiteetin kasvaessa. Jauhatusintensiteetin ja ominaissärmäkuorman säädöillä on myös rajansa, sillä terän pyörimisnopeuden nostaminen liian korkealle aiheuttaa turhaa turbulenssia jauhimeen ja pumppauspaineen tarpeettomaan nousuun. [42]

ta.





Kuva 42. Lujuusominaisuuksia nettoenergian funktiona, bdmt = bone-dry metric tons. A: Repäisyindeksi kasvaa tiettyyn pisteeseen asti, kunnes lähtee laskuun. B: Vetoindeksi kasvaa nettoenergian kasvaessa. C: Bulkki laskee nettoenergian kasvaessa. D: Palstautumislujuus kasvaa nettoenergian kasvaessa. [41]

8. Yhteenveto kirjallisuudesta

Tässä kirjallisuudessa tarkasteltiin mekaanisen massan valmistusta painehiontaprosessin kannalta. Tavoitteena oli löytää kirjallisuudesta prosessisuureita, jotka vaikuttavat painehiokkeen laatuun ja siten myös taivekartongin laatu- ja lujuusominaisuuksiin. Kriittisimpinä lujuussuureina tarkasteltiin CSF-lukua sekä vetolujuutta, jonka on havaittu vaikuttavan suoraan palstautumislujuuteen. Ensimmäiseksi tutustuttiin raaka-aineen

eli kuusen ominaisuuksiin ja hiontaprosessin vaiheisiin, joihin kuuluvat hiomakone, saostus, painelajittelu, rejektin jauhatus ja rejektin lajittelu. Kriittisimmät prosessisuureet löytyivät hiomakoneen, rejektin jauhatuksen ja painelajittelun säädöistä sekä hiomakiven käsittelystä. Prosessisuureiden lisäksi todettiin ulkolämpötilan vaikuttavan selvästi hiokkeen laatuominaisuuksiin, sillä yleensä raakapuu varastoidaan ulos.

Hiomakoneen tuottaman massan ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa vaihtamalla ajotapa teho-, tuotantonopeus- tai EOK-säädön välillä. EOK vaikuttaa suoraan hiokkeen CSF-lukuun ja siten myös veto- ja palstautumislujuuteen. Soveltavassa osassa ehdotetaan tutkittavaksi EOK-ohjauksen mahdollisuuksia hiokkeen lujuusominaisuuksien parantamiseksi.

Painelajittelussa rejektisuhteen todettiin olevan tärkein ohjausparametri. Rejektisuhteen optimoinnilla esimerkiksi eri ulkolämpötilojen mukaan saattaa olla mahdollista parantaa sekä pää- että rejektilinjan lajitteluiden selektiivisyyttä ja siten myös taivekartongin lujuutta.

Rejektin jauhatuksen kriittisimmäksi prosessisuureeksi nousi jauhatuksessa kuituihin siirrettävä nettoenergia. Sen nostaminen lisää palstautumislujuutta, mutta liiallinen energian siirto johtaa kuitupituuden ja bulkin selvään laskuun. Kuten muiden prosessisuureiden suhteen myös rejektinjauhatuksen suureiden säätö on optimoitava vallitsevien prosessiolosuhteiden mukaan.

Hiokkeen valmistus prosessi on herkkä vaihteluille. Sen tärkein prosessisuure on vaihtelua eniten aiheuttava hiomakivi ja sen pinnan käsittely. Se voidaan tehdä vesiteräyksellä, rullateräyksellä, sorvaamalla tai tylsyttämällä kiven pintaa. Kiven terävyys vaikuttaa suoraan hiomakoneen graafiseen toimintakäyrästöön, eli pinnan muutokset vaikuttavat aina joko prosessin energiankulutukseen tai hiokkeen laatuominaisuuksiin. Teräyksen

lisäksi hiomakiven toimintaan voidaan vaikuttaa valitsemalla pinnoitteeseen sopiva raekoko tai vaihtamalla urasyvyyttä tai -kulmaa. Hiomakiven käsittely on hyvinkin kivi-kohtaista ja vaatii käsittelyn tekevältä tuotantohuoltomieheltä ammattitaitoa ja kokemusta. Soveltavassa osassa voidaan tutkia teräämiseen vaikuttavia tekijöitä sekä tarkastella teräystaajuuden vaikutusta hiokkeen laatuun.

SOVELTAVA OSA

9. Kokeellisen osan johdanto

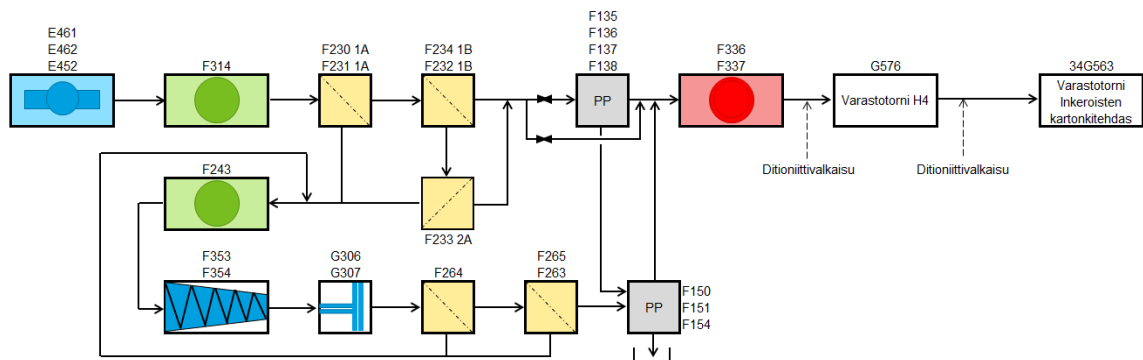
Kokeellisen osan tavoitteena on selvittää H4 osahiomalinjan prosessin laadunhallinnalliset elementit ja tutkia niiden kehitysmahdollisuuksia. Tutkimuksessa perehdytään hiomakoneiden, rejektisuhteen ja rejektin jauhatuksen kehittämiseen. Painelajittimen ominaisuuksiin ei tässä diplomityössä oteta kantaa, sillä lajittelun tehostamista on tutkittu hiomolla jo kahdessa diplomityössä ja lisäksi sitä on tutkittu ja kehitetty tehtaan omien resurssien kautta. [67, 68]

Koeajojen ja toimintatapojen kannalta on tärkeää tarkastella myös nykyistä ajomallia. Hiomakoneiden osalta kehitystutkimusta kohdistetaan kivien käsittelyyn, tutkitaan rejektisuhteen muutosta ja sen mahdollisuuksia laadunhallintaan ja lisäksi selvitetään rejektilinjan jauhatuksen toimivuutta ja vaikutusta valmiin hiokemassan laatuun.

10. Prosessikuvaus

10.1. H4 osahiontalinja

Tässä työssä tutkitaan painehiomon osahiomolinjaa H4. Se tuottaa hioketta Inkeröisten kartonkitehtaalalle. H4 linjalla on pääsääntöisesti käytettävissä kolme hiomakonetta, joissa kaikissa on kaksi uunia. Osahiomon 4 yksinkertaistettu lohkokaavio on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. H4-osahiomolinjan yksinkertaistettu lohkokkaavio

Hiomakoneet ovat merkitty kaavioon koodeilla E461, E462 ja E452. Koneet E461 ja E462 toimivat samalla moottorilla, ja niitä ajetaan normaalisti kahden uunin rinnakkaiskäytöllä. E452 hiomakoneella oma moottorinsa, jolloin tehonotto ja kiven kuluma ovat todennäköisemmin riippuvaisia toisistaan. Tätä konetta ajetaan vuorouunimenetelmällä. Näistä syistä on myös oletettavaa, että koneen E452 kivenalusmassan laatu poikkeaa kartonkihiokkeen valmistukseen tarkoitettujen koneiden E461 ja E462 tuottamasta laadusta.

Hionnasta massa ohjataan sälemurskaimen kautta painesaostimelle F314, josta massa ajetaan lajitteluun. Painelajittelu tehdään useammassa vaiheessa. Ensimmäisessä (1A) vaiheessa on rinnan kaksi painelajitinta, F230 ja F231, joilta rejekti siirretään rejektinkäsittelyyn ja aksepti puolestaan 1B-painelajittimille F232 ja F234. Aksepti ohjataan vaihtoehtoisesti joko suoraan tai pyörrepuhdistimien F135-F138 kautta rinnakkaisille kiekkosuotimille F336 ja F337. Myös 1B-lajittimilta rejekti ohjataan myös rejektinkäsittelyyn. Jauhimien jälkeen akseptilinjaan lisätään valkaisukemikaalia, ditioniittia. Valkaisua voidaan vielä tehostaa tarvittaessa varastotornin G576 jälkeen ennen pumppausta Inkerösten kartonkitehtaan varastosäiliöön 34G563.

Rejektin käsittely alkaa esisaostuksella heittosaostimella F243, jonka jälkeen varsinainen saostus tehdään Thune-ruuvisaostimilla F353 ja F354. Saostettu rejektimassa jau-

hetaan kahdella rinnakkaisella levyjauhimella G306 ja G307, minkä jälkeen massaa laimennetaan ja se lajitellaan ensin painelajittimella F264. Tästä saatu aksepti lajitellaan vielä kertaalleen rinnakkaisilla painelajittimilla F263 ja F265. Lajittelusta rejekti palautetaan esisaostukseen ja aksepti puhdistetaan pyörrepuhdistimilla F150, F151 ja F154. Näistä aksepti ajetaan jakosäiliön kautta päälinjan kiekkosuotimille. Rejekti pyörrepuhdistimelta F154 johdetaan vedenpuhdistamolle. Prosessista poistettavan rejektin virtausta ei mitata tällä hetkellä.

Inkeröisten kartonkitehdas on perustettu vuonna 1872. Nykyinen kartonkikone, KK4, on ollut käytössä vuodesta 1965 ja se on uusittu vuonna 2012. Sen kapasiteetti on 280 000 t/a ja se tuottaa taivekartonkituotteita Tambriteä ja Tamfoldia 750 m/s maksiminopeudella. KK4:n trimmileveys on 4,6 metriä ja tuotteiden neliömassa on 190 – 335g/m². [50]

10.2. Massatase osahiomalinjalle H4

Taselaskenta H4-prosessille tehtiin maksimituotantonopeuden mukaan, jossa kahden hiomakoneen uunien tuotantonopeudet ovat 5 t/h. Lisäksi hiomakone E452 on vuorohionnalla, ja tuotantonopeus uunia kohden on 4 t/h. Tällöin hiontalinja on maksituotannollaan, jolloin hiontatuotanto on yhteensä 24 t/h. Päälinjan painelajittimien rejektisuhteet perustuvat laitetoimittajan prosessisuunnitelmaan vuodelta 1997. Tämän muutoksen jälkeen rejektin lajittelun painelajitin F263 on vaihdettu ja sen rejektikytkentä vaihdettiin päälinjasta esisaostukseen. Rejektinlinjan rejektisuhteet on otettu prosessiohjausjärjestelmä Metso DNA:sta. Painelajittimet ja niiden rejektisuhteet on listattu taulukkoon 4.

Taulukko 4. Painelajittimien rejektisuhteet mitoitus suunnitelman mukaan [53]

Painelajitin	Rejektisuhde (% rejektiä)	Lähde
F230 1A	7	[53]
F231 1A	7	[53]
F232 1B	27	[53]
F234 1B	27	[53]
F233 2A	65	[53]
F264	20	[54]
F263	20	[54]
F265	33	[54]

Valkaisuun käytettävän ditioniitin osuus laskettiin kaavan 22 mukaan.

$$\dot{m}_{\text{ditioniittiliuos}} = \dot{V}_{\text{ditioniittiliuos}} \cdot \rho_{\text{ditioniittiliuos}} \quad (22)$$

Jossa	$\dot{m}_{\text{ditioniitti}}$	Ditioniittiliuoksen massavirtaus (kg/h)
	$\dot{V}_{\text{ditioniitti}}$	Ditioniittiliuoksen tilavuusvirtaus (l/h)
	$\rho_{\text{ditioniitti}}$	Ditioniittiliuoksen tiheys (kg/l)

Tarkasteluhetkellä ditioniittisyöttö oli 864 l/h. Syötettävä ditioniittiliuos on halutun vaaleuden saavuttamiseksi laimennettu vedellä. Käytössä on 0,7 % vesiliuos, josta ditioniitin osuuden voi laskea, kun tiedetään ditioniitin tiheydeksi huoneenlämmössä 2,5 kg/l. Tarkasteluhetkellä syötön venttiili oli asetettu asentoon 25 %. Näillä tiedoilla voidaan laskea ditioniittiliuoksen massavirtaus.

$$\dot{m}_{\text{ditioniittiliuos}} = \left(\left(0,93 \cdot 864 \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) \cdot 0,001 \frac{\text{t}}{\text{l}} + \left(0,07 \cdot 864 \frac{\text{l}}{\text{h}} \right) \cdot 0,0025 \frac{\text{t}}{\text{l}} \right) \cdot 0,25 = 0,87 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

Prosessissa on vain yksi massavirran palautus, jossa painelajittimien F263, F264 ja F265 rejektivirrat palautetaan esisaostimelle F243. Raaka-ainetta tuotetaan 24 t/h ja tuotetta syntyy massataseen mukaan noin 21,53 t/h, jolloin prosessin saannoksi saadaan noin

90 %. Kuvassa 44 on esitetty taivekartonkihiokieprosessin massatase. Taselaskenta on vain suuntaa-antava, sillä prosessista puuttuu useita laskennalle tärkeitä virtaus- ja sa-
keusmittauksia. Laskennassa on tehty useita oletuksia esimerkiksi massan kierrätyksis-
tä, joissa online-virtausmittauksia ei ole. Veden osuus monissa virroissa on jätetty
huomioimatta, sillä vesien poistumisvirtauksia useimmista prosessilaitteista ei ole mi-
tattu, ja ne ovat osana suurempaa kokonaisuutta tehdasintegraatissa.

11. Nykytoimintatapa hiokkeen valmistuksessa

11.1. Prosessin asetukset

Taivekartongin valmistukseen käytetään pääasiassa kahta ja tarvittaessa kolmea Tampellan valmistamaa T 1815 p kaksiuunista painehiomakonetta. Koneiden yksityiskohtaiset rakenteet ja niiden tärkeimmät osat on esitetty kuvassa 12. Hionta tapahtuu noin 2,5 bar paineessa, ja suihkuvesien lämpötila on 89 °C. Suihkuvettä käytetään pinnan puhdistamiseen, jäähdyttämiseen ja hionnan tehostamiseen ennen ja jälkeen jokaista uunia. Yhdessä painehiomakoneessa on neljä suihkuvesiputkea. Kuten kappaleessa 7.2.1. todettiin, hiomakoneen kuormitussäätöjä ovat teho-, tuotantonopeus- ja EOK-säätö. H4-prosessissa hiomakoneita ajetaan automatiikalla, jossa vakioasetukseksi on asetettu tuotantonopeus. Ohjelmoitu säätö huomioi pakkaantumistiheyden kasvun uunin lopussa.

Nykyisessä toimintatavassa kivenkäsittelyllä on merkittävä painoarvo hiokkeen laadun hallinnassa. CSF-lukua säädetään kiven pinnan käsittelyillä, joka puolestaan tuo hioke-massan laadunhallintaan suuria haasteita. Teoriassa CSF:n pitäminen tasaisena vaatii tarkkaa seuranta ja kiven säännöllistä käsittelyä. Käytännön toimintatapaa kiven käsittelyn suhteen käsitellään kappaleessa 13.

Hiokemassa ajetaan hiomakoneelta sälemurskaimen ja puskusykloonan kautta painesakeuttimelle, jossa massa saostetaan noin 10 % kuiva-ainepitoisuuteen. Painesakeuttimilta massa ajetaan massasäiliön kautta painelajittimille. H4/R4 prosessissa on käytössä päälinjalla viisi ja rejektilinjalla kolme painelajitinta. Nämä ovat Tampellan valmistamia, mutta pää- ja rejektilinjan lajittimet ovat eri mallia. Päälinjan painelajittimet ovat mallia TL 300 ja rejektilinjan lajittimet mallia TL 100. Näistä TL 300 on suurempi, ja siinä on korkeampi sihtipinta. Painelajittimien toimintaa voidaan ohjata lajit-

timen rejektiputken venttiilin asennolla. Käytännössä lajittelussa rejektisuhde pidetään virtauksen suhteen vakiona, jolloin ohjaus perustuu massan sakeuteen.

Lajiteltu massa ohjataan joko suoraan tai pyörrepuhdistuksen kautta kiekkosaostimille. Pyörrepuhdistuksen tarve määritetään kartongin laadunmittauksella. Pyörrepuhdistuksella voidaan hieman vähentää tikkupitoisuutta ja poistaa roskaa sekä painavia kappaleita massasta. Saostettu massa valkaistaan asetettuun 72 prosenttiin. Valkaisuun käytettävän ditioniitin määrä perustuu Pulp Expert -laitteen online-vaaleusmittaukseen.

Rejektinkäsittelyssä tärkein prosessin osa on jauhatus. Koska tehoa pyritään pitämään mahdollisimman vakiona, levyn pyörimisnopeutta ei voida säätää. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jauhatuksen ohjaus tapahtuu terälevyvälillä tai syöttösakeutta säätämällä. Sakeutta voidaan teoriassa säätää R4 esisaostuksessa tai Thuneruuvipuristimilla, mutta tehtävät muutokset ovat käytännössä tarpeettoman radikaaleja verrattuna levyvälin säätöön. Jauhinterät vaihdetaan Anjalankosken tehtaiden painehiomossa noin 1500 käyttötunnin välein. Jauhatuksen jälkeinen painelajittelu tehdään painelajittimilla, joiden ohjaus tapahtuu päälinjan lajittimien tavoin rejektisuhteella.

Lajiteltu massa lajitellaan vielä pyörrepuhdistimilla, joita säädetään syötön ja akseptin/rejektin paine-eron avulla. Prosessialueella tehdyn havainnon mukaan viimeisen pyörrepuhdistimen (F154 jälkeinen vino pyörrepuhdistin) akseptin ja rejektin välistä suhdetta ei voida tietää, sillä virtoihin ei tehdä paine- eikä virtausmittauksia.

11.2. Nykyinen ajotapa

Ajotavan perustana on ajotapa, jolla tuotanto on maksimiasetuksessaan aina kun mahdollista. Prosessin ohjauksella päivittäisessä ajossa keskitytään tuotannon käynnissä

pitämiseen. Tuotantonopeuksiin ei ole tehty muutoksia laadunsäätämiseksi. Linjalla prosessihäiriöiden johdosta saatetaan siirtyä hetkellisesti kahden kiven ajoon, jolloin kokonaismassan määrä linjalla laskee noin 4 t/h.

Laadunhallinta nykyisessä ajotavassa perustuu vahvasti tuotantohuoltomiesten kivikäsitteilytoimenpiteisiin. Laatua seurataan pääsääntöisesti viikoittain maanantaisin ja torstaisin aamupalaverissa.

Tuotantohuoltomiesten tekemät huoltotoimenpiteet hiomakivillä perustuvat tuotantotuntimääriin, joita he seuraavat prosessinohjausjärjestelmä DNA:sta. Näistä rajoista ei ole aina pidetty täsmällisesti kiinni, johon osittain on syynä se, että tässä tehtävässä toimii vain kaksi henkilöä. Sairastapauksien sattuessa yksi tuotantohuoltomies ei pysty suorittamaan esimerkiksi kiven sorvausta, vaan siihen tarvitaan työpari. Vesiteräyksiä tehdään erittäin harvoin, sillä tällä hetkellä hiomakoneiden EOK-arvot eivät ole helposti saatavissa, eikä siten teräyksen tarvetta pystytäkään todentamaan.

11.2.1. Prosessin suorituskky

H4 osahiomalinjan hiomakoneet tuottavat noin 24 tonnia massaa tunnissa. Määrä on erittäin suuri verrattuna esimerkiksi paperihiontalinjoihin, joiden kapasiteetti normaaliajotilanteessa on noin 18-22 t/h. Massan määrän suuruus korostuu entisestään painesaostajalla ja kiekkosuotimilla, jotka ovat kapasiteetiltaan pienempiä kuin paperihiomalinjoilla. Laitteiden koko on peräisin ajalta, jolloin kartonkihioketta valmistettiin vain kahdella hiomakoneella.

Diplomityön aikana, tammikuusta syyskuuhun 2016, havaittiin usean kerran ongelmia, jotka johtuivat liian suuresta massan määrästä prosessissa. Ylimäärämassa pääsi prosessiin esimerkiksi tuotantonopeuksien jäädessä liian korkealle kuuden uunin ajoon siirryttäessä. Pullonkauloja prosessissa havaittiin olevan päälinjan pyörrepuhdistussar-

joissa, kiekkosuotimilla, rejektilinjan Thune-ruuvipuristimilla sekä rejektilinjan ensimmäisellä painelajittimella.

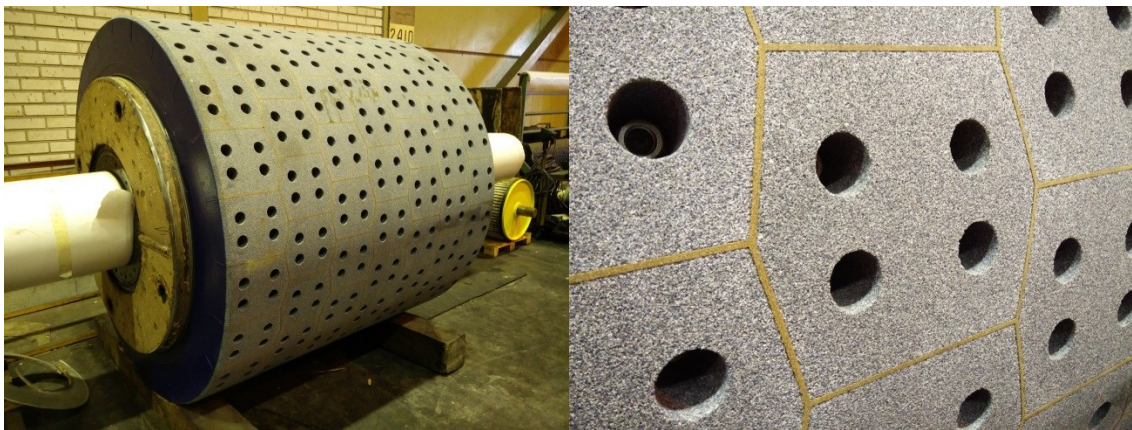
Pyörrepuhdistinsarjojen tukkeutumista ei voida massamäärän noustessa estää muulla kuin ohittamalla päälinjan pyörrepuhdistimet täysin. Kiekkosuotimien kuorma on normaaliajotilanteessa ollut maksimissaan, mistä seuraa, ettei massan määrän lisääntyessä prosessiyksikkö toimi kuten sen pitäisi. Integraattiseisokissa elokuun lopussa 2016 H4-linjan kiekkosuotimien sektoreita vaihdettiin ja laitteiden suihkuputkille tehtiin huolto. Tämän ansiosta kuorma laski selvästi, ja syksyn 2016 tilanteessa kiekkosuotimet saattavat kestää massan määrän hallitun noston.

Rejektilinjalla massan virtausmäärät kasvavat, ellei päälinjalta rejektilinjalle ohjattavan massan rejektisuhdetta pienennetä. Normaaliajotilanteissa virtausrejektisuhteet pidetään vakiona, jolloin virtausmäärän kasvaessa päälinjalla myös rejektilinjalle siirrettävän massan määrä kasvaa. Tällaisissa tilanteissa havaittiin, etteivät R4 rejektilinjan Thune-ruuvipuristimien kapasiteetti riitä kovin suurelle massavirran nousulle. Tällöin ruuvipuristimet eivät toimi oikein, ja niiden läpi jauhatukseen siirrettävä massa on liian vetistä. Jauhimen syöttösakeuden ollessa liian matala jauhin ei toimi, ja massa menee siitä läpi. Tämä puolestaan kuormittaa rejektilinjan ensimmäistä painelajitinta F264, joka menee tukkoon erittäin herkästi.

Prosessin kapasiteetin nosto vaatii siis erittäin tarkan tutkimuksen kaikkien prosessilaitteiden suorituskyvyn kannalta sekä koko prosessikokonaisuuden taselaskennan tarkastuksen.

11.2.2. Hiomakivi ja sen käsittely

Taivekartonkihiokkeen valmistamiseen käytetään Nortonin valmistamia hiomakiviä, jotka ovat mallia 462. Luku tarkoittaa, että keramiikan keskiraekoko on 46 mesh ja että sen saavuttamiseksi on käytetty kahta raekokoa (40 ja 50 mesh). Kuvassa 45 on esitetty Storan Enson Anjalankosken tehtailta varalla oleva hiomakivi ja kyseisen kiven hiontasegmenttejä.



Kuva 45. Norton hiomakivi ja sen hiontasegmenttejä

Hiomakiviä käsitellään pääsääntöisesti vain sorvaamalla kiven pinta tasaiseksi ja sen jälkeen rullaterämällä siihen urat. Vesiteräystä käytetään hyvin harvoin. Haastattele-malla sekä tuotantotyöntekijöitä että kuituosaston käyttöpäällikköä selvisi, että vesite-räystä on kokeiltu aiemmin varovaisilla paineilla (< 1600 bar). Tällöin kuitenkin vaikutus valmiin massan CSF-tasoon on jäänyt pieneksi tai olemattomaksi. Tässä diplomityössä tarkastellaan tuotannon aikana tehtyjen vesikäsittelyiden vaikutusta eri paineilla hio-kemassan laatuominaisuuksiin.

Hiomakiven sorvauksessa pinta tasoitetaan kuvassa 46 vasemmalla puolella olevalla rullalla. Pinnasta poistetaan noin 2 mm, jonka jälkeen pintaan rullaterätään urat kuvas-sa 46 oikealla puolella olevalla rullalla. Kyseisessä rullassa urien kulma on 28° ja uria

neljä kappaletta tuumalla. Urien syvyydeksi ajetaan järjestyksessä ensin 0,5 mm:iin, 0,9 mm:iin ja lopuksi 1,1 mm:iin. Tuotantohuoltomiehen mukaan muita rullia ei ole käytetty moniin vuosiin osahiomalinjalla 4.



Kuva 46. Sorvaus- ja rullateräysrullat. Vasemmalla puolella näppyläpintainen sorvausrulla ja oikealla 28°/4 teräysrulla.

12. Vaihtelut laadussa vuoden aikana

Mittausdataa kerätään tietokantaohjelma Wedgeen ja laboratoriokeiden tuloksia tietokantaohjelma Vtrin Messiin. Dataa on käsitelty vuoden 2015 huhtikuulta vuoden 2016 helmikuun loppuun saakka. 2015 maaliskuulta ei ole saatavissa ulkolämpötilamittauksia, joten kuukauden dataa ei ole huomioitu. Analysoinnissa rajattiin data tärkeimpiin vaikuttaviin tekijöihin, kuten ulkolämpötilaan, lujuusominaisuuksiin, rejektisuhteisiin ja energiankulutukseen. Ulkolämpötilalla on suuri vaikutus puun hioutuvuuteen. Siitä ei ole mitattu dataa ennen vuoden 2015 huhtikuuta. Siksi datan analysointi tehtiin aikavälille huhtikuu 2015 helmikuun loppu 2016. Datasta poistettiin mittauspisteet, jolloin tuotanto ei ollut käynnissä.

12.1. Vuodenaikavaihtelut datassa

Kerätystä datasta laskettiin keskiarvot taulukossa 5 oleville prosessisuureille ja lujuusominaisuuksille.

Taulukko 5. Prosessisuureet ja lujuusominaisuudet, joiden pohjalta vuodenaikavaihteluja tarkastellaan.

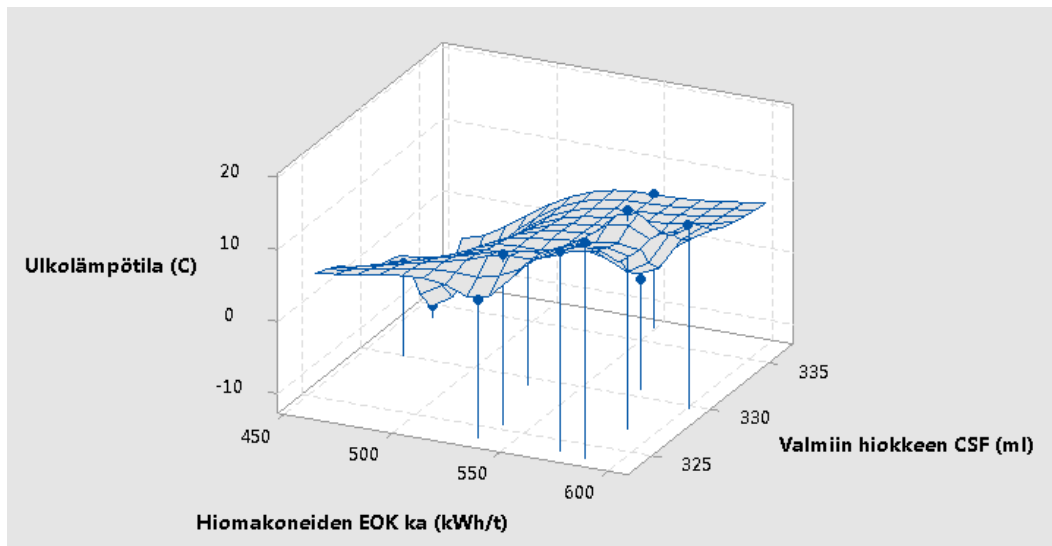
Suure	Yksikkö	Suure	Yksikkö
Kivituotanto	t/h	Päälinjan lajittelun rejektisuhde	%
Ulkolämpötila	°C	Rejektin käsittelyn lajittelun rejektisuhde	%
Valmiin hiokkeen CSF	ml	Jauhimien teräväljen keskiarvo	mm
Valmiin hiokkeen vetoindeksi	Nm/g	Hiomakoneiden EOK (keskiarvo)	kWh/t
Valmiin hiokkeen tikkupitoisuus	%	Rejektin CSF	ml
Valmiin hiokkeen kuidunpituuden keskiarvo	mm	KK4 palstautumislujuus	kPa

Vuodenaikavaihteluissa voidaan olettaa ulkolämpötilan olevan yksi suurimpia muuttujia prosessiin. Ulkolämpötilan vaikutusta eri hiokeprosessin osiin ja lujuusominaisuuksiin tutkittiin kivituotannon, valmiin hiokkeen CSF:n, vetoindeksin, tikkupitoisuuden ja kuidunpituuden, valmiin kartongin palstautumislujuuden, rejektin jauhimien teräväljen sekä hiomakoneiden EOK:iden osalta. Edellä mainittujen suureiden kuvaajat ulkolämpötilan funktiona sekä kirjallisuusosan perusteella tärkeäksi havaittujen hiomakoneen EOK valmiin hiokkeen CSF:n funktiona ja valmiin hiokkeen vetolujuus KK4 palstautumislujuuden funktiona on esitetty liitteessä A.

Puun jäätyminen talvisin ja kuivuminen kesällä vaikuttavat eniten lujuusominaisuuksiin, mutta myös prosessisuureissa on havaittavissa ailahtelua korkeissa (> +20 °C) ja matalissa lämpötiloissa (< 0 °C). Rajuinta laadun heittelyä aiheuttivat tammikuun 2015 kovat pakkaset, jolloin kaikki lujuusominaisuudet laskivat ja tuotantomäärä väheni selvästi. Lujuusominaisuuksista kärsivät pakkasista eniten keskimääräinen kuidunpituus hiokkeessa ja hiokkeen vetoindeksi. Myös valmiin kartongin palstautumislujuus laski, joka on verrannollinen hiokkeen vetolujuuden heikentymiselle. Valmiin massan CSF ei kui-

tenkaan keskimääräisesti vaikuta korreloivan lämpötilaan yli +10 asteen lämpötilassa. Pakkasella CSF vaihtelee rajummin kuin sulan kelin aikaan, mutta varsinaista suoraa yhteyttä ulkolämpötilalla ja CSF:llä ei vaikuta olevan. Vaihtelut hiokemassan CSF:ssä ovat tällä päätelmällä riippuvaisia muista muuttujista. Tämä ei kuitenkaan sulje pois mahdollisuutta lämpötilan epäsuoraan vaikutukseen esimerkiksi hiomakoneiden tai jauhimien EOK:n muutoksen kautta.

Hiomakoneen EOK seuraa vahvasti ulkolämpötiloissa tapahtuvaa muutosta. Vaikkakin prosessia ajetaan vakiotuotantonopeudella, niin raaka-aineen jäätyminen on aiheuttanut pudotuksen sekä kivituoannossa (t/h) että hiomakoneiden EOK:ssa. Kuvassa 47 on esitetty kolmiulotteinen kuvaaja valmiin hiokemassan CSF-arvosta, hiomakoneiden EOK-arvojen keskiarvosta ja ulkolämpötilasta kuukausikeskiarvoilla aikavälillä huhtikuu 2015 helmikuu 2016. Kuvasta voidaan havaita, että Lämpötilan laskiessa pakkasen puolelle, hiomakoneiden EOK-arvo putoaa ja samalla valmiin hiokemassan CSF kasvaa. Vetoindeksi on verrannollinen CSF-arvoon. CSF-arvon kasvaessa myös vetoindeksi on laskenut selvästi. Liitteen A sivulta 4 nähdään, kuinka äkillinen hiokkeen vetoindeksin lasku vaikuttaa taivekartongin palstautumislujuuteen. Kaikki palstautumislujuuudessa tapahtuvat vaihtelut eivät kuitenkaan vaikuta olevan lähtöisin hiokkeen vetoindeksin muutoksesta. Rajuimmat vaihtelut voidaan kuitenkin selittää hiokkeen lujuusominaisuuksien muutoksella.

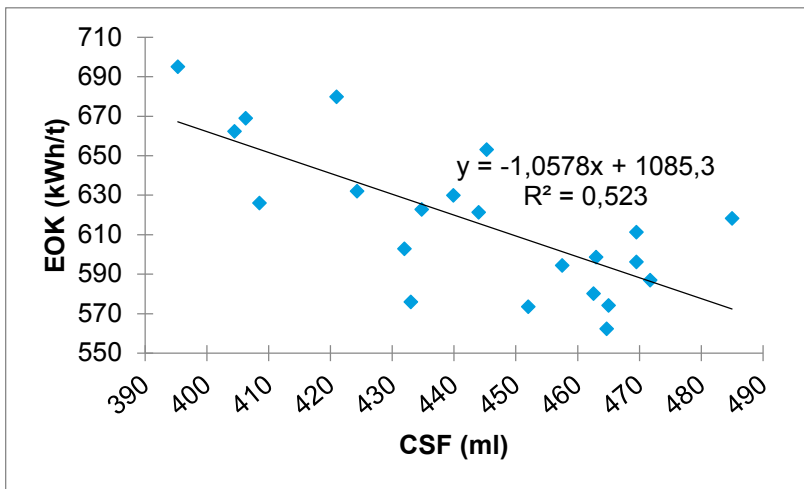


Kuva 47. Kolmiulotteinen havainnollistus vuodenaikavaihteluista ulkolämpötilan, hiomakoneiden EOK-arvojen keskiarvojen ja valmiinhiokemassan CSF-arvon välillä

Vuoden aikana tapahtuvat muutoksen laadussa ovat siis hyvinkin riippuvaisia ulkolämpötilasta ja sen vaikutuksesta raaka-aineeseen. Liitteen A kuvaajista havaitaan selvästi, ettei painehiokkeen valmistuksen kaltaista vaihteluherkkää prosessia voida ajaa samalla ajotavalla läpi vuoden, vaan lämpötilan muutokseen tulisi reagoida mieluiten jo ennakoon.

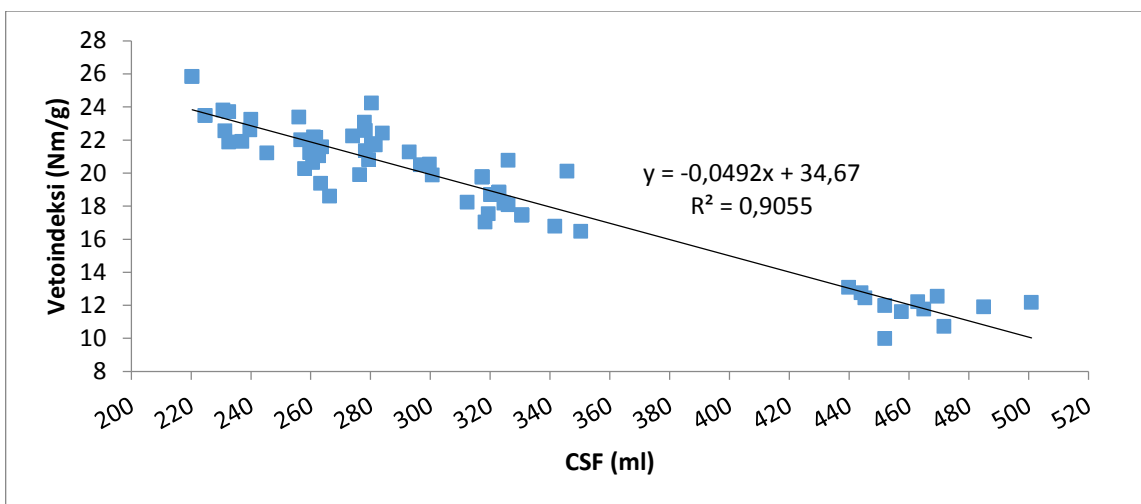
12.2. Hiontaprosessissa tapahtuva vaihtelu

Hiontaprosessi on vaihteluherkkä prosessi, joka toimii täysin sen mukaan, millaista ajotapaa prosessihenkilöt käyttävät. Yksi tärkeimmistä ohjausparametreista on tuotantonopeus, sillä se vaikuttaa hiomakoneen tehonottoon. Tuotantonopeutta ja tehoa voidaan tarkastella hiomakoneen EOK:n avulla. Kuvassa 48 on esitetty H4 hiomakoneiden EOK-arvot niiden kivenalusmassojen CSF-arvojen funktiona.



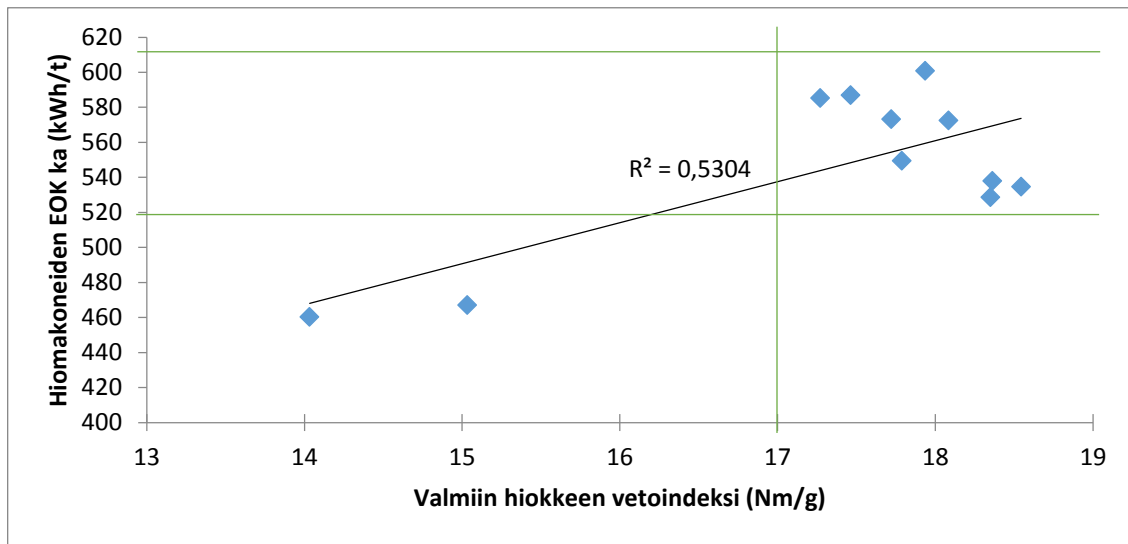
Kuva 48. H4 hiomakoneiden EOK-arvot niiden kivenalusmassojen CSF-arvojen funktiona

Kuvasta 48 nähdään, että EOK:n ollessa noin 600 kWh/t saadaan todennäköisemmin pienemmän CSF:n hioketta. CSF korreloi myös valmiin hiokkeen vetoindeksiin kanssa. Tämä nähdään kuvasta 49, jossa on esitetty valmiin hiokkeen vetoindeksi CSF:n funktiona. Tulokset on koottu keväällä 2016 tehtyjen kivenalusmassa, valmiin massan ja rejektilinjan akseptimassan mittaustuloksista.



Kuva 49. Valmiin hiokkeen vetoindeksi CSF:n funktiona

Valmiin hiokkeen vetoindeksin riippuvuus hiomakoneen EOK:sta on kuitenkin selvin indikaattori, että tuotantonopeudella ja hiomakoneen teholla on selvä vaikutus massan lujuusominaisuuksiin. Hiomakoneiden 461 ja 461 EOK:den keskiarvo valmiin hiokkeen vetoindeksin funktiona on esitetty kuvassa 50.



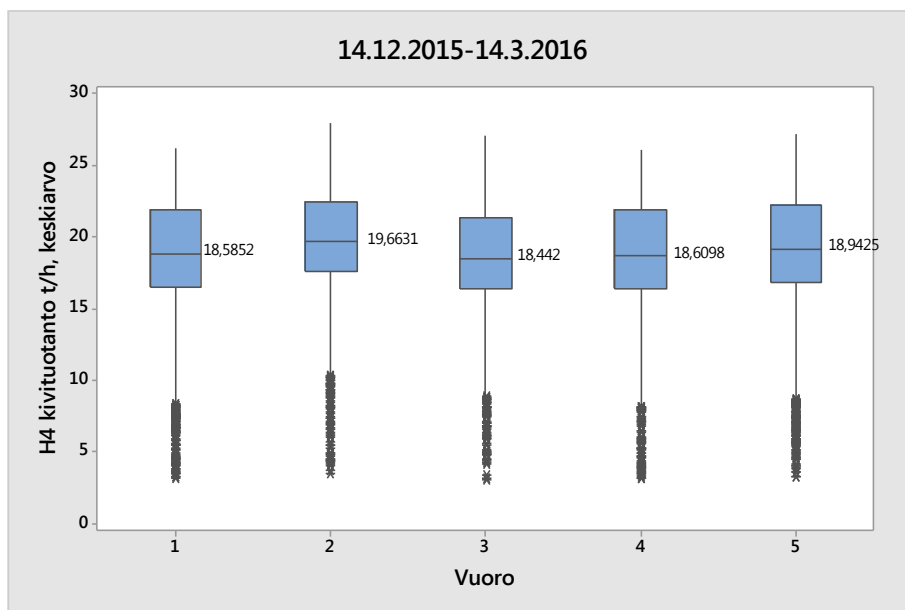
Kuva 50. Hiomakoneiden EOK keskiarvo valmiin hiokkeen vetoindeksin funktiona

Kuvaan 50 on piirretty ohjausrajat, joiden sisäpuolella hiokkeen vetoindeksi on toivotulla tasolla. Vetoindeksi 17 Nm/g on tavoitearvo, jota suuremmalla luvulla taivekartongin palstautumisluku on hyvä ja jota pienemmällä luvulla palstautumisluku on puolestaan heikko. Laatikon ulkopuolelle jäävät arvot ovat pakkaskuukausien keskiarvoja. Datat perustella pakkaskaudella hiomakoneiden EOK:ta on nostettava laadun heikkene-
misen estämiseksi. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi tuotantonopeuksia laskemalla.

12.3. Vuorokohtaiset vaihtelut prosessissa

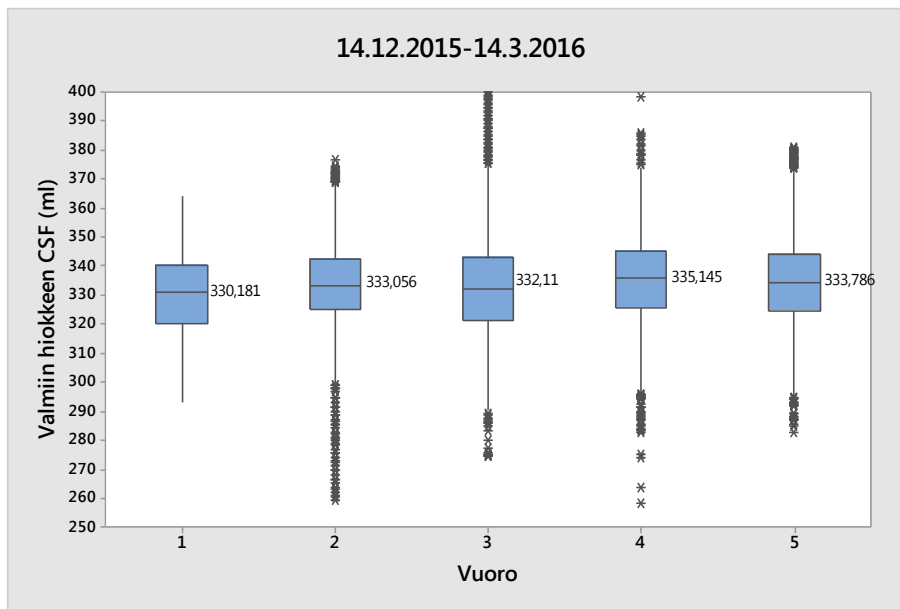
Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomolla tehdään tuotantotyötä kolmivuorojärjestelmällä ympärivuorokautisesti. Vuoroja on viisi ja vuorojärjestelmänä on TAM37 (neljä aamuvuoroa, vapaa, neljä iltavuoroa, vapaa, neljä yövuoroa, kuusi vapaa-
ta). Vaikka prosessia ajetaan säädetyn ajo-ohjelman mukaan, vuorokohtaisia eroja tuo-

tantomäärien ja laatuominaisuuksien suhteen on havaittavissa. Viiden vuoron tuotantomäärät ja niiden keskiarvo kolmen kuukauden ajalta (14.12.2015-14.3.2016) on esitetty kuvassa 51.



Kuva 51. Tuotantomäärät ja niiden keskiarvo eri vuoroille 14.12.2015-14.3.2016

Kuvasta 51 on nähtävissä, että vuoro 2 tuottaa keskimääräisesti muita vuoroja enemmän tonneja tunnissa. Toisaalta kyseisen vuoron tuotantomäärän vaihtelu on muita vuoroja pienempää. Suurin vaihtelu tuotantomäärissä on vuorolla 5. Vuorojen tuotantomäärät heijastuvat myös valmiin hiokkeen CSF-lukuun. Pieni vaihtelu tarkoittaa myös pientä vaihtelua CSF-luvussa. Kuvassa 52 on esitetty eri vuorojen tuottaman hiokkeen CSF-luvun keskiarvot ja vaihtelut kolmen kuukauden otannalla.

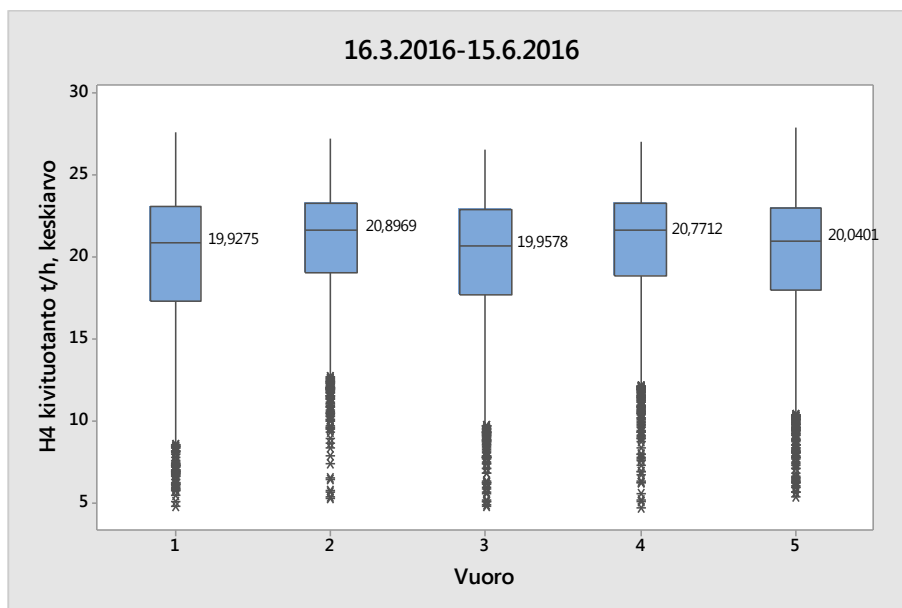


Kuva 52. Vuorojen tuottaman hiokkeen CSF-luvun keskiarvot ja arvon vaihtelu 14.12.2015-14.3.2016

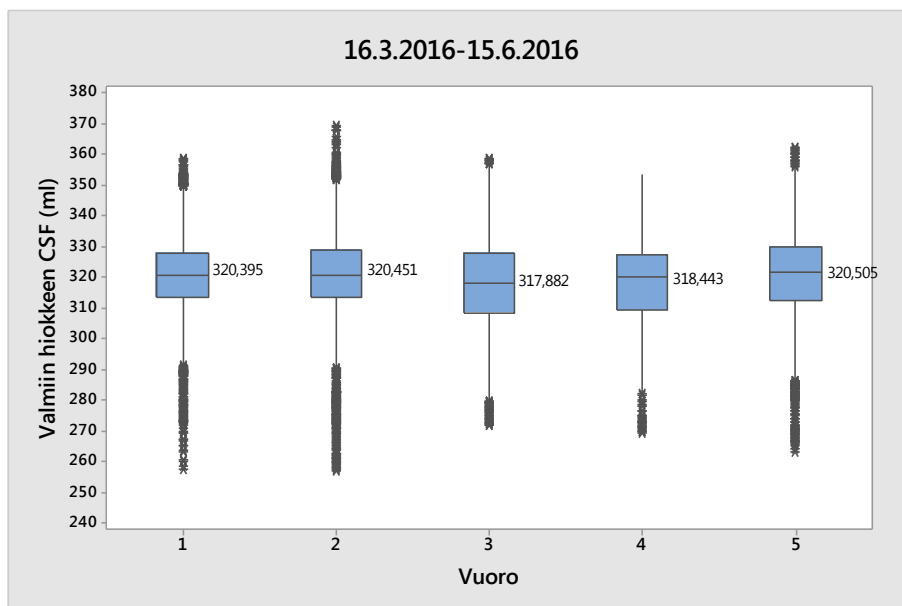
Kuvasta 52 nähdään selvästi, että tuotantomäärät vaikuttavat myös CSF-lukuun. 1. vuoro on tuottanut kartonkihioketta lähimmäksi tavoitearvoa, kun taas 4. vuoro on keskiarvoltaan korkeammalla kuin muut vuorot. Pienimmällä laadullisella vaihtelulla tuotannossa on onnistunut 2. vuoro. Yleisellä tasolla CSF-arvojen vaihteluväli on liian suuri. Prosessioperaattoreiden haastatteluista selvisi, että operaattoreilla on hieman erilaisia mieltymyksiä ajaa prosessia. Osa operaattoreista tuottaa yhdellä kivellä korkeamman CSF-luvun hiokemassaa ja toisella kivellä matalampaa CSF:ää, jolloin keskimääräisesti hiokkeen CSF-tavoite saavutetaan. Tällä ajotavalla hiokkeen laadussa on väistämättä vaihtelua esimerkiksi kuituosuuksissa, tikkupitoisuudessa ja vetolujuudessa.

Tuotannossa tehtiin maaliskuun puolivälissä tuotantonopeuksiin muutos, ja kaikki kuusi uunia otettiin tasaiseen ajoon. Kuvassa 53 on esitetty aiempaa vastaavasti kolmen kuukauden vuorokohtainen kivituoanto aikajaksolta 16.3.2016-15.6.2016 keskiarvoineen ja vaihteluväleineen. Kuvassa 54 on esitetty samalta aikajaksolta vuorokohtainen val-

miin hiokkeen CSF-arvon keskiarvo sekä vaihteluvälit.



Kuva 53. Tuotantomäärät ja niiden keskiarvo eri vuoroille 16.3.2016-15.6.2016



Kuva 54. Vuorojen tuottaman hiokkeen CSF-luvun keskiarvot ja arvon vaihtelu 16.3.2016-15.6.2016

Kuvista 53 ja 54 havaitaan, että keskimääräinen kivituoanto on kasvanut edelliseltä tarkastelujaksolta noin 1-2 t/h. Valmiin hiokemassan CSF-keskiarvo on kaikilla vuoroilla laskenut hieman ja vaihteluväli on kiristynyt. Hiokkeen CSF ei enää karkaa niin usein tavoiterajan yläpuolelle, mikä puolestaan tarkoittaa sitä, että hiokkeen lujuusominaisuudet pysyvät parempina.

13. Hiokemassan laadunvalvonta

13.1. Prosessin mittauspisteet

H4-osahiontalinjalla tehdään säännöllisesti vain online-mittauksia Pulp Expert -laitteen avulla. Valmetin valmistama Pulp Expert toimii joko automaattisesti tai manuaalisesti osana prosessin laadunvalvontaa. Laite valmistaa hiokemassasta kuivia levyjä, josta laite itse tutkii CSF:n, massa-, optiset ja lujuusominaisuudet. [61] Kuvassa 55 on esitetty Pulp Expert -laite.



Kuva 55. Valmet Pulp Expert -mittauslaite [61]

Online-mittauksia suoritetaan taulukossa 6 esitetyistä mittauspisteistä. Samassa taulukossa on esitetty myös mittauspisteistä määritettävät laatuominaisuudet. Rejekttilinjan

akseptista ei saada online-mittauksella määritettyä vetolujuutta, sillä linjan Pulp Expert -laitteessa ei ole lujuusominaisuuksien määrittämiseen käytettävää moduulia. Linjasta voidaan kuitenkin ottaa käsinäytteitä, jotka syötetään toiseen laitteeseen, jolla määrittäminen voidaan suorittaa. CSF-luvun ja vetoindeksin välinen korrelaatio on syytä todentaa myös rejektinlinjalla, jotta saadaan parempi ymmärrys siitä, mistä valmiin massan CSF-taso muodostuu.

Taulukko 6. Pulp Expert mittauspisteet ja mitattavat suureet

Massa	Mittauspiste	Mitattavat suureet
Valmis hioke	Ennen ditioniitti valkaisua	CSF, sakeus, pH, vetoindeksi, tikkupitoisuus, kuidunpituus
Valkaistu valmis hioke	Varastotornin G576 jälkeen	Vaaleus, vaaleus UV
Aksepti rejektin käsittelystä	Jakosäiliön G570 jälkeen	CSF, sakeus

Pulp Expert -mittauspisteiden lisäksi prosessista löytyy useita käsinäytepisteitä. Laatu-mittauksia teetetään Anjalan paperitehtaan massalaboratoriossa vain tarpeen mukaan, esimerkiksi teräyksen jälkeen kivenalusmassan käsinäytteestä. Käsinäytepisteet ja niiden sijainnit on listattu taulukkoon 7.

Taulukko 7. Käsinäytepisteet ja niiden sijainnit

Näytepiste	Sijainti
Hiomakoneiden kivenalusmassat	E452/E461/E462 alla, sälemurskaimen vieressä
Päälinjan lajittelun syöttömassa	Painesaostimen jälkeisen massasäiliön G541 jälkeen
Pyörrepuhdistimien aksepti	Syöttöputki kiekkosuotimille PP-sarjojen takana
Rejektin lajittelun aksepti	Painelajittimien F263/F265 akseptilinja
Valkaistu massa	Ennen säiliötä G543
Poistuva rejekti	Viimeinen poistoputki rejektille prosessista

13.2. Havaintoja nykytilanteen laadunhallinnasta

Taivekartongin laadunhallinta riippuu vahvasti tuotetun hiokkeen laatuominaisuuksista. Nykytilanteessa hiokkeessa tapahtuvat laadulliset vaihtelut havaitaan vasta kartonki-

tehtaan puolella, jolloin ongelmakohtien löytäminen on hidasta, ja ongelmiin reagointi painehiomolla on verkkaista. On selvää, että laadun vaihtelut tulisi havaita jo hiokkeen valmistuksessa, jolloin taivekartongin valmistuksessa tarvitsee tehdä vain pieniä säätöjä esimerkiksi tärkkelystä lisäämällä palstautumislujuuden parantamiseksi.

Diplomityöprosessin aikana ja kesätyön ohessa kuituosaston vuoromestarin tehtävässä oli havaittavissa, etteivät operaattorit seuraa kovin aktiivisesti valmiin hiokemassa CSF-arvoja. Laadunhallinnassa luotetaan vahvasti tuotantohuoltomiesten kiviäsittelyihin ja ylemmältä tasolta tuleviin ohjeistuksiin. Operaattorit eivät itse ilmoita aktiivisesti laadun heikkenemisestä.

Valvonnan tasosta huolimatta CSF-arvon laskemiseksi tehtävät toimenpiteet on syytä pitää varovaisina. Kesällä 2016 kivien käsittelyn jälkeen valmiin hiokemassan CSF nousi korkealle tasolle, noin 350 millilitraan. Inkeröisten Kartonkitehtaalta tulleen vaatimuksen jälkeen kiviä tylsytettiin, mikä johti CSF:n romahdukseen, jossa massan CSF oli 250 ml. Tämä antaa vahvan näytön, ettei kiviä kannata tylsyttää, sillä toimenpiteen vaikutusta on erittäin vaikea ennakoida. CSF-taso laskee kivien pintojen kuluessa normaaliin tahtiin.

13.2.1. Teräystaajuus ja kiven käsittely

Painehiomolla on päivätyössä kaksi tuotantohuoltomiestä, joiden tehtäviin kuuluu myös hiomakivien käsittely. Kivelle voidaan tehdä joko sorvaus eli kiven pinnan tasoittaminen, rullateräys, vesiteräys tai tylsytyks. Kirjallisuusosassa todettiin teräämisen olevan tärkeä osa tasalaatuisen hiokkeen valmistusta. Tehtaalla kivien sorvaus ja rullateräys on tehtaalla tarkoitus tehdä noin kolmen kuukauden eli noin 2000 tuotantotunnin välein. Käytännössä kiven käsittely on kuitenkin havaintojen ja kirjattujen merkintöjen perusteella satunnaista, eikä 2000 tuotantotunnin rajaa ole noudatettu aivan ohjeistuksen mukaan. Taulukossa 8 on esitetty hiomakivien kumulatiiviset tuotantotunnit eli

tuotantotuntien keräytymä edellisestä sorvauksesta ja teräyksestä 15.3.2016. Taulukossa 9 on esitetty osahiomalinjan H4 hiomakoneiden käsittelyt tarkastelujaksolta 4/2015-2/2016.

Taulukko 8. Hiomakivien kumulatiiviset tuotantotunnit 15.3.2016

Hiomakone	Tuotantotunteja edellisestä sorvauksesta (h)
E452	698
E461	1464
E462	3822

Taulukosta 8 nähdään, että hiomakoneen E462 tuotantotuntikertymä on venynyt pitkälle asetetusta 2000 tunnista. Kyseiselle kivelle tehtiin sorvaus ja teräys 16.3.2016. Kyseisen hiomakiven käsittelyn vaikutusta kivenalusmassan laatuun tutkitaan kappaleessa 14.3.

Taulukko 9. Osahiomalinjan H4 kivien käsittelyt tarkastelujakson ajalta

Hiomakoneet											
Koneen numero E452			Kivityyppi Olettu käyttöön	Norton 27436 19A 462 07 VG 15.5.2014	Koneen numero E461			Kivityyppi Olettu käyttöön	Norton 27535 19A P7 VG 14.2.2015	Koneen numero E462	
Päivämäärä			Teräystapa	Yläajot	Päivämäärä			Teräystapa	Yläajot	Päivämäärä	
26.5.2015			Sorvaus	10p	14.2.2015			Sorvaus	10p	14.2.2015	
26.5.2015			Teräys	4sp	14.2.2015			Teräys	4sp	14.2.2015	
7.1.2016			Sorvaus	10p	22.7.2015			Sorvaus	10p	9.3.2015	
7.1.2016			Teräys	4sp	22.7.2015			Teräys	4sp	16.9.2015	
12.1.2016			Työsytytys	-	5.1.2016			Sorvaus	10p	16.9.2015	
12.1.2016			Työsytytys	-	5.1.2016			Teräys	4sp	16.9.2015	
22.1.2016			Työsytytys	-	11.1.2016			Työsytytys	-		
3.2.2016			Työsytytys	-	15.1.2016			Työsytytys	-		
25.2.2016			Työsytytys	-	21.1.2016			Työsytytys	-		
25.2.2016			Työsytytys	-	28.1.2016			Työsytytys	-		
					29.1.2016			Työsytytys	-		
					3.2.2016			Työsytytys	-		
Edelliset vesiteräykset hiomakoneilla											
Kone			E452	Päivämäärä	Käytetty paine (bar)	Kone	E461	Päivämäärä	Käytetty paine (bar)	Kone	E462
				17.8.2015	2000			4.12.2015	2000		

Taulukosta 9 nähdään, että kivien rullateräyksiä ei ole tehty säännöllisesti. Vuoden 2016 alussa 461 ja 462 kiviä on jouduttu tylsyttämään useasti. Kivien tylsyttämisen syyinä on töissä olleen tuotantohuoltomiehen mukaan pakkasen jäädyttämän puun aiheuttamat vaikutukset laatumittauksiin sekä kivien niin sanottu itsestään teräytyminen jäätynyttä puuta vasten. Näihin ilmiöihin ei kuitenkaan ole mahdollista ottaa tässä työssä kantaa, sillä kivenalusmassoista ei ole tehty mittauksia ennen tai jälkeen toimenpiteitä. Kivien käsittely on perustettu siis valmiin hiokkeen CSF:n online-mittauksiin. Kivenalusmassamittauksiin ja massojen vaikutuksiin valmiin hiokkeen laatuominaisuuksissa eri koneiden osalta perehdytään kappaleessa 14.4. Hiokkeen laadunhallinnan kannalta tylsyttäminen on varsin hallitsematon toimenpide, jonka sijaan kiven pinta tulisi mieluummin sorvata.

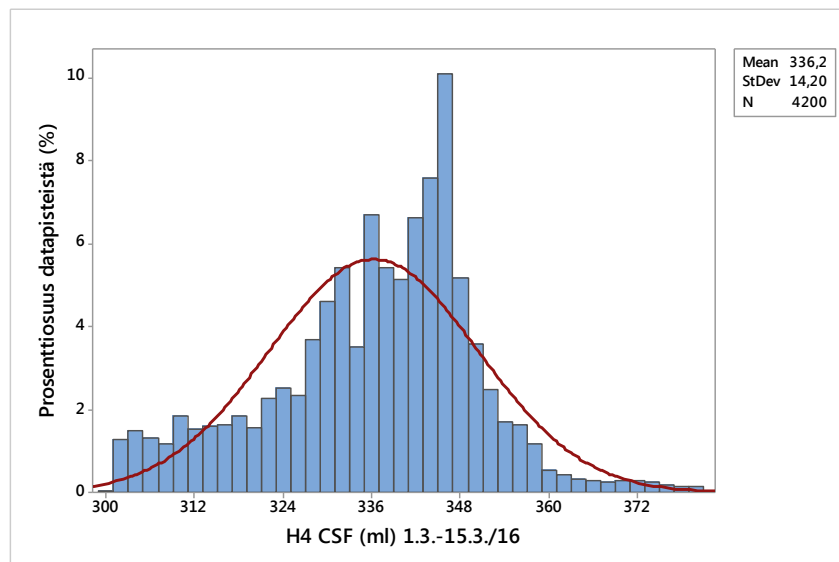
13.2.2. Painelajittimien asetukset

Keskusteluissa prosessinhoitajien kanssa kävi ilmi, että rejektin painelajittimien syötösakeus voi olla mahdollinen tekijä laadun vaihteluihin. Painelajittimet toimivat aseteulla rejektisuhteella, joka perustuu lajittimen akseptin ja rejektin virtausmittauksiin. R4-linjalla lisätään kuitenkin massan joukkoon ennen ensimmäistä lajitinta (F264) vettä vakiovirtauksella. Jos massan sakeus on varmasti vakio ennen veden lisäystä, niin ongelmaa ei synny. Jos massan sakeudessa puolestaan on vaihtelua R4 jauhinsäiliön poistossa, vakiovirtauksella syötettävä vesi muuttaa painelajittimien toimintaa, sillä rejektisuhde riippuu myös tilavuusvirran lisäksi syöttömassan sakeudesta. Keskustelussa prosessinhoitaja mainitsi myös, että useimmat sakeussäädöt prosessissa tehdään manuaalisesti, eikä automaatiolla, joka prosessinohjausjärjestelmästä löytyy.

14. Painehiokkeen laatu ennen koeajojen aloittamista

14.1. Valmiin massan laatuominaisuudet

Referenssijaksoksi koeajoille valitaan maaliskuun alku, 1.3.-15.3.2016. Kyseinen ajanjakso kuvaa paremmin koeajojaksojen aikaisia olosuhteita kuin tammi-helmikuu, jolloin raaka-aineena käytetty puu oli jäässä. Alkuvuoden 2016 ajan aina maaliskuun puoliväliin saakka prosessia ajettiin mallilla, jossa hiomakoneet 461 ja 462 olivat tuotantonopeudella 5 t/h/uuni ja hiomakone 452 vuorohionnalla, jossa tuotantonopeutena oli 4 t/h/uuni. Kuvassa 56 on esitetty referenssijakson ajalta valmiin massan (H4) CSF-luvun jakauma histogrammina, johon on lisätty datapisteiden normaali jakauma.



Kuva 56. Valmiin massan CSF-luvun jakauma aikavälillä 1.3.-15.3.2016

Minitab-ohjelma, jolla yllä oleva kuvaaja on tehty, laskee kuvan HB histogrammiin valmiiksi mittauspisteiden keskihajonnan ja keskiarvon. Vaihteluvälin maksimi- (UCL, upper control limit) ja minimiarvot (LCL, lower control limit) saadaan laskettua kummallekin pistejoukolle kaavojen 24 ja 25 avulla.

$$UCL = \bar{X} + 3 \cdot \sigma \quad (24)$$

Jossa \bar{X} Mittauspisteiden keskiarvo
 σ Keskihajonta

$$LCL = \bar{X} - 3 \cdot \sigma \quad (25)$$

Kaavojen 30 ja 31 avulla saadaan laskettua referenssijakson valmiin massan CSF-luvulle ylä- ja alarajat sekä vaihteluväli.

$$UCL_{H4} = 336,2 \text{ ml} + 3 \cdot 14,2 \text{ ml} = 378,8 \text{ ml}$$

$$LCL_{H4} = 336,2 \text{ ml} - 3 \cdot 14,2 \text{ ml} = 293,6 \text{ ml}$$

$$\text{Vaihteluväli}_{H4} = 6 \cdot \sigma = 6 \cdot 14,2 \text{ ml} = 85,2 \text{ ml} \rightarrow \bar{X} \pm 47,1 \text{ ml}$$

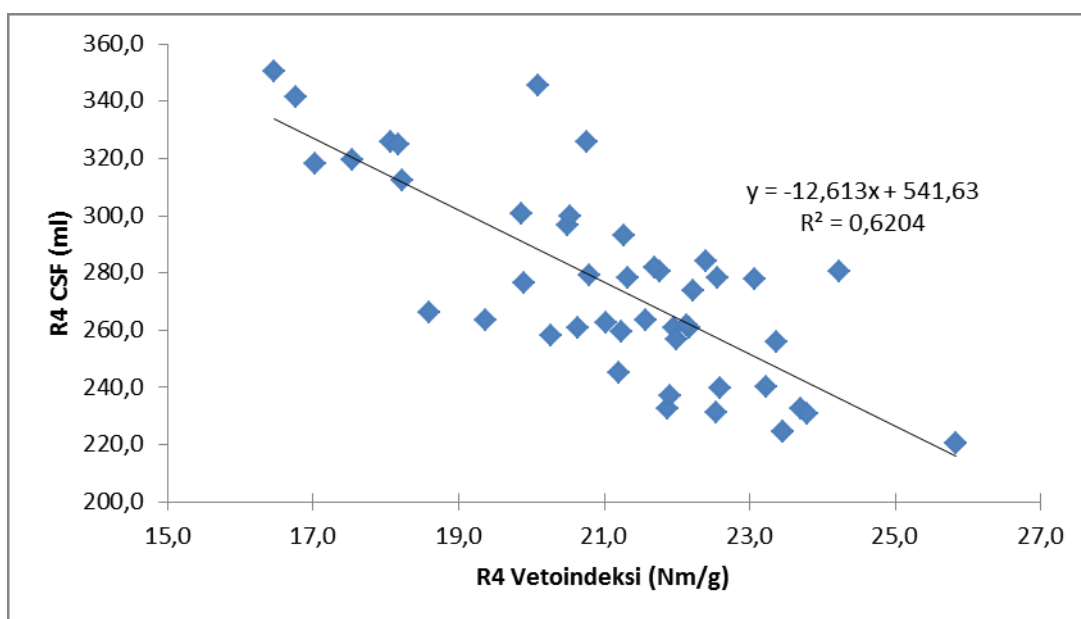
Valmiin massan CSF-tavoite on asetettu 330 millilitraan sekä ylä- ja alarajat laadulle tavoitteesta +/- 30 ml:an. Referenssijakson aikana CSF-tavoitteeseen on keskiarvon puolesta päästy, mutta vaihteluväli laadulle on huomattavasti suurempi kuin tavoitteeksi on asetettu. Tämän vaihteluvälin kiristäminen vähintään asetettujen rajojen sisäpuolelle ja normaalijakauman tasoittaminen Gaussin käyrän mukaiseksi ovat kokeellisen osan tavoitteita.

14.2. Rejektin käsittelyn aksepti

Rejektinlinjan akseptimassasta, joka ajetaan päälinjan massan joukkoon, tutkittiin CSF-lukua ja vetoindeksiä. CSF saadaan suoraan Pulp Expertin online-mittauksesta, mutta vetoindeksin mittausta ei voida suorittaa online-mittauksena, koska kyseisestä laitteesta puuttuu lujuusominaisuuksien mittaukseen tarvittava moduuli. Vetoindeksin määrittäminen tehtiin manuaalisesti kannunäytteillä, jotka otettiin painelajittimien F263 ja F265

akseptimassojen sekoituksesta. Analyysi tehdään samalla Pulp Expert -laitteella, jolla valmiin massan ominaisuuksia määritetään. Massanäytteitä otettiin mahdollisuuksien mukaan joka arkipäivä kahdesta kolme kappaletta: Yksi aamulla, yksi keskipäivällä ja yksi iltapäivällä. Näytteet analysoitiin Pulp Expertillä. Referenssimittaukset löytyvät taulukoituna liitteestä B. Referenssijaksona lujuusmittauksille oli 10.-29.3.2016.

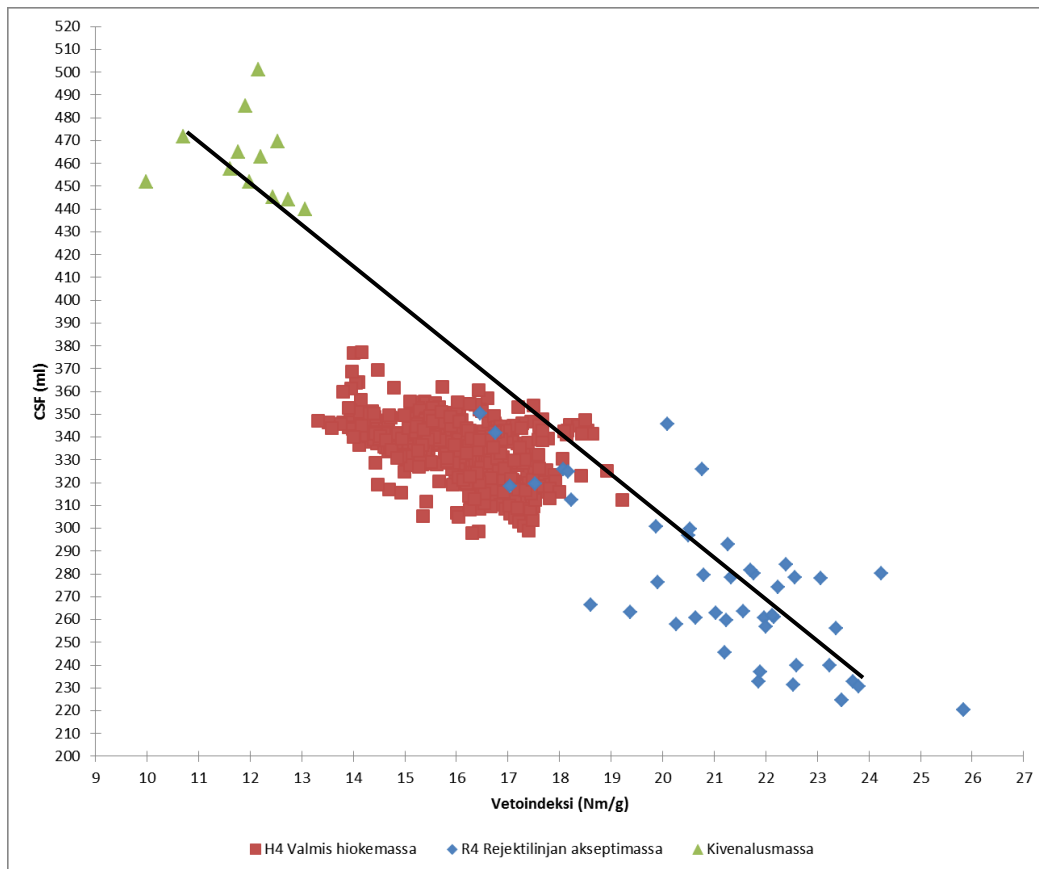
Rejektin akseptin CSF-luku ja vetolujuusindeksi korreloivat keskenään tarkasteltavalla CSF-alueella samoin, kuin valmiin massan ominaisuudet. Tämä on nähtävissä kuvasta 57.



Kuva 57. Rejektinlinjan akseptin CSF vetoindeksin funktiona.

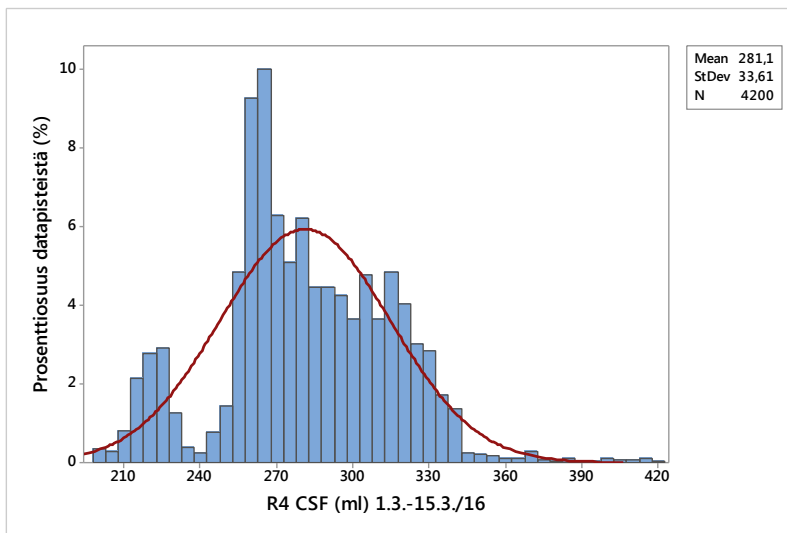
Rejektinlinjan akseptimassan, valmiin hiokemassan ja kivenalusmassan CSF-arvot on esitetty vastaavien vetoindeksien funktioina kuvassa 58. Kuvaajasta nähdään, että rejektimassan lujuusominaisuudet eivät poikkea valmiin massan lujuusominaisuuksista. Tämä tarkoittaa käytännössä, ettei rejektimassan osuudella ole lineaarisuudesta poikkeavaa vahvempaa lujuutta tekevää vaikutusta valmiiseen hiokemassaan. Tästä on ollut

tehtaalla aiemmin sellainen käsitys, että rejektin jauhatusta lisäämällä voitaisiin lisätä valmiin hiokemassan lujuusomaisuuksia. Tämä puolestaan tarkoittaa, että valmiin hiokemassan vetolujuuteen voidaan vaikuttaa vain valmiin hiokemassan CSF-lukua säätämällä.



Kuva 58. CSF vetoindeksin funktiona valmiissa hiokemassassa, kivenalusmassassa ja rejektinlinjan akseptimassassa.

Kappaleessa 14.1. esitettiin valmiin massan CSF-luvulle histogrammi. Kuvassa 59 on esitetty vastaava histogrammi rejektinlinjan akseptimassan CSF-luvulle. Siitä nähdään, että laatu rejektinlinjalla vaihtelee reilusti aina noin 200 ml:sta 350 ml:aan. Lisäksi mitatut pisteet eivät noudata normaalijakauman käyrää, vaan ne ovat jakautuneet epätasaisesti.



Kuva 59. Rejektilinjan akseptin CSF-luvun jakauma aikavälillä 1.3.-15.3.2016

Kaavojen 30 ja 31 mukaan saadaan laskettua rejektilinjan akseptimassalle vaihteluväli.

$$UCL_{R4} = 281,1 \text{ ml} + 3 \cdot 33,61 \text{ ml} = 381,93 \text{ ml}$$

$$LCL_{R4} = 281,1 \text{ ml} - 3 \cdot 33,61 \text{ ml} = 180,27 \text{ ml}$$

$$\text{Vaihteluväli}_{R4} = 6 \cdot \sigma = 6 \cdot 33,61 \text{ ml} = 201,66 \text{ ml} \rightarrow \bar{X} \pm 100,83 \text{ ml}$$

Rejektilinjan akseptin laadun vaihteluväliksi saadaan 281 ml +/- 100 ml, joka on todella suuri. Havainnot ovat yhtäpitäviä sen kanssa, että rejektilinjan akseptimassan CSF:lle ei ole asetettu minkäänlaisia tavoitteita. Laadun kannalta on syytä pienentää vaihteluväliä mahdollisimman paljon, sekä asettaa rejektilinjan akseptille laatutavoite ja sallittu vaihteluväli. Tällöin päälinjalla suoritettavien eri koeajojen aiheuttamien muutoksien seuraaminen on helpompaa.

14.3. Kivenalusmassojen laatu

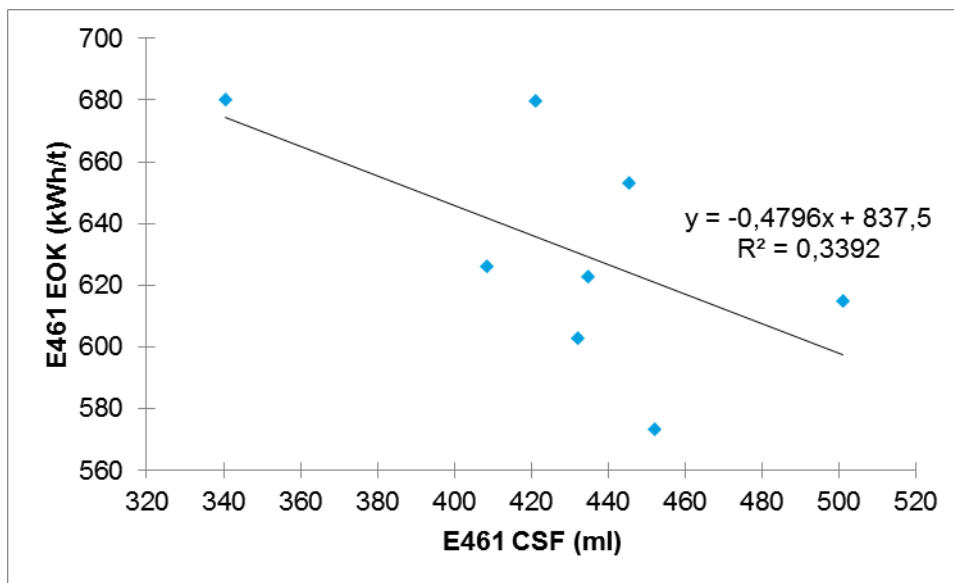
Tämän diplomityön kirjallisuusosassa todettiin kivenalusmassan olevan verrannollinen hiomakoneen EOK-arvoon. Kivenalusmassoja ei ole ennen tämän työn aloittamista

määritetty kovinkaan usein, johon eräänä syynä on se, että karkea kartonkhihieki-
 venalusmassa on liian tikkuista syötettäväksi Pulp Expert -laitteeseen, jolloin määri-
 set kuormittaisivat massalaboratorion jo valmiiksi kiireistä aikataulua. Kivenalusmasso-
 ja kerättiin huhtikuun alusta lähtien ja CSF-määritykset tehtiin kappaleessa 15.2.2. esi-
 tettyllä tavalla. Näytteen keräilyaika oli tunti, ja tätä aikaa vastaava EOK saatiin Wedge-
 ohjelmistosta. Kivenalusmassojen CSF-luvut sekä niitä vastaavat EOK:t on esitetty tau-
 lukossa 10.

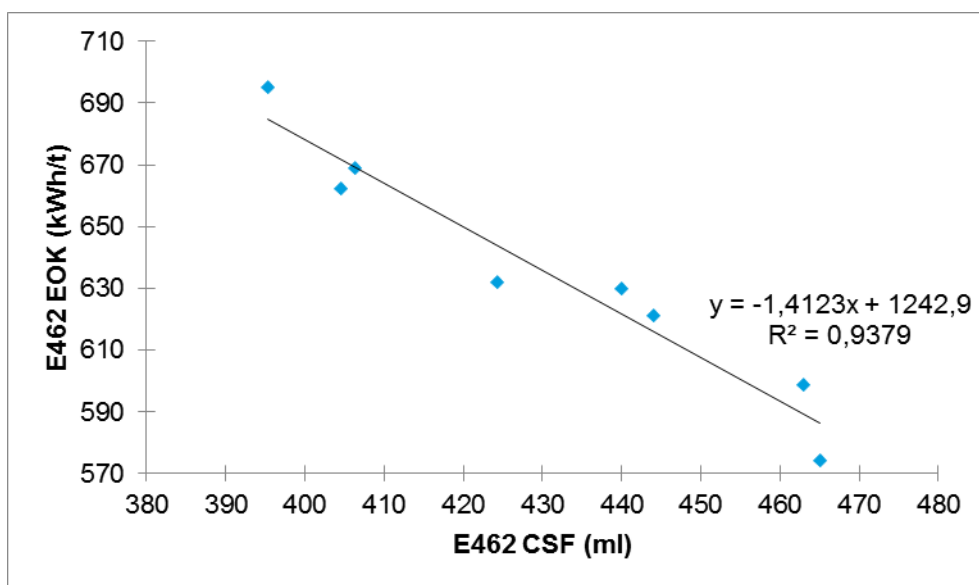
Taulukko 10. Kivenalusmassojen CSF-luvut ja vastaavat hiomakoneiden EOK:t

Päivämäärä	Keräilyaika	E461		E462		E452	
		CSF (ml)	EOK (kWh/t)	CSF (ml)	EOK (kWh/t)	CSF (ml)	EOK (kWh/t)
5.4.2016	07:00-08:00	452,0	573,4	465,0	574,1	457,5	594,4
7.4.2016	07:00-08:00	501,0	615,0	463,0	598,5	485,0	618,2
12.4.2016	07:00-08:00	432,0	602,8	444,0	621,3	471,8	586,9
15.4.2016	07:00-08:00	340,5	680,0	395,3	695,0	462,6	580,0
2.5.2016	10:30-11:30	408,5	626,0	404,5	662,3	433,0	575,9
4.5.2016	10:45-11:45	434,8	622,7	424,3	631,9	469,5	596,1
6.5.2016	10:00-11:00	421,0	679,7	406,3	668,8	464,7	562,3
13.5.2016	08:45-09:45	445,3	653,1	439,9	629,9	469,5	611,1

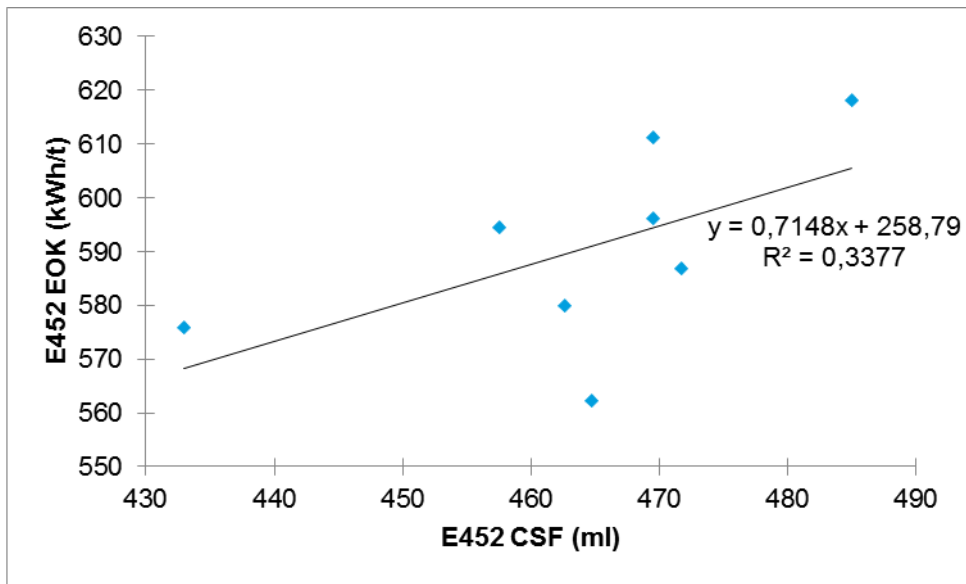
Kuvissa 60, 61 ja 62 on esitetty hiomakonekohtaisesti kivenalusmassan CSF-luvut niitä
 vastaavien EOK-arvojen funktiona.



Kuva 60. Hiomakoneen 461 EOK CSF:n funktiona

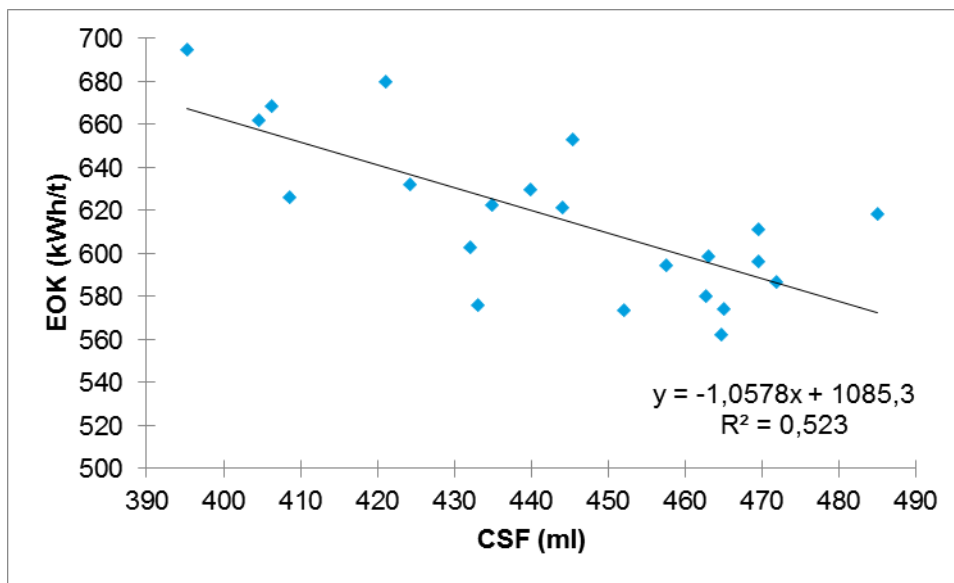


Kuva 61. Hiomakoneen 462 EOK CSF:n funktiona



Kuva 62. Hiomakoneen 452 EOK CSF:n funktiona

Kuvassa 62 kivenalusmassan suora on käänteinen verrattuna kahteen muuhun kuvaajaan. Tälle ei ole minkäänlaista teoreettista selitystä, joten oletetaan laboratoriotyökentelyssä tapahtuneen muutamia epäonnistuneita määrittäyksiä. Kokonaisuutta tarkasteltaessa kuvan 62 arvot kuitenkin sopivat kahden muun hiomakiven kivenalusmassojen arvojen kanssa samaan ryhmään. Kun kaikkia kolmea kivenalusmassaa tarkastellaan samassa kuvaajassa, havaitaan, että EOK:n avulla voidaan ennustaa kivenalusmassan CSF-luku varsin tarkasti. Kolmen hiomakoneen yhdistetty EOK CSF-luvun funktiona on esitetty kuvassa 63.



Kuva 63. Hiomakoneiden EOK kivenalusmassan CSF-luvun funktiona

Tuovinen [65] esittää kivenalusmassalle laskennallisen kaavan (kaava 26), jonka avulla voidaan ennustaa kivenalusmassan CSF-luku.

$$CSF = e^{\left[\frac{A-EOK}{B}\right]} \quad (26)$$

Jossa A, B Optimoitavia parametrejä

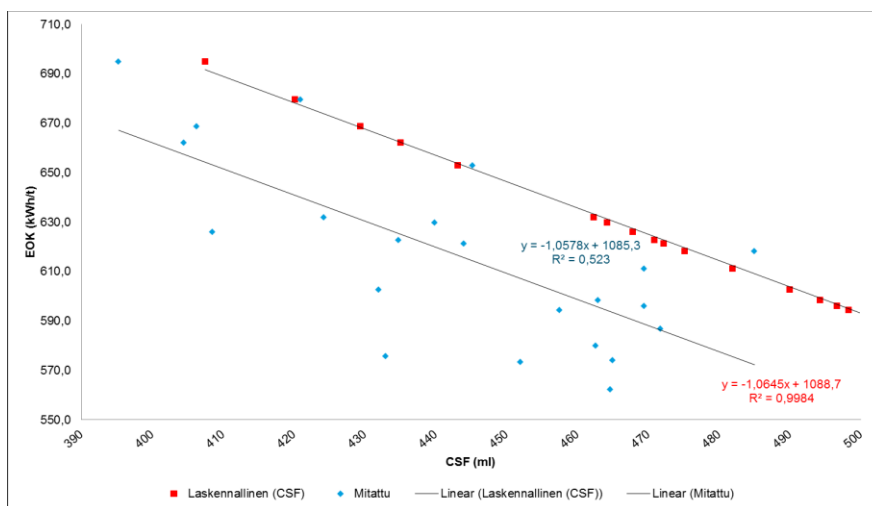
Kaavalla 30 voidaan muodostaa ennustava malli kivenalusmassan CSF-luvulle, kun hiomakoneen EOK on tunnettu. Täysin tarkan mallin toteuttaminen ei käytännössä ole kuitenkaan mahdollista, sillä kivenalusmassan CSF-lukuun vaikuttaa ladonnan eli puiden syötön tasaisuus hiomakoneeseen ja laatuerot puupölleissä, kuten koko, kosteus ja hiekkaisuus.

Prosessijärjestelmä on jo aiemmin laskenut energian ominaiskulutuksen avulla kivenalusmassan CSF:n. Taulukossa 11 on esitetty kaavan 26 parametrit A ja B. Arvot ovat ajalta, kun vesiteräysjärjestelmä otettiin käyttöön.

Taulukko 11. Alkuperäisen laskennallisen kivenalusmassan CSF-parametrit

Parametri	Arvo
A	3700
B	510

Taulukon 11 mukaisia parametrejä käyttäen laskettiin kaavalla 26 kivenalusmassalle laskennallinen CSF tunnettujen EOK-arvojen mukaan. EOK laskennallisen CSF-arvon funktiona on esitetty kuvassa 64. Kuvassa esitetyistä kuvaajista havaitaan, että vaikka laskennallisen EOK:n yhtälö on muodoltaan eksponentiaalinen, on se kartonkihiokkeen kivenalusmassan CSF-arvojen alueella yksinkertaistettavissa käytettäväksi lineaarisena funktiona.



Kuva 64. Laskennallisen CSF:n vertailu mitattuihin arvoihin alkuperäisillä parametreillä

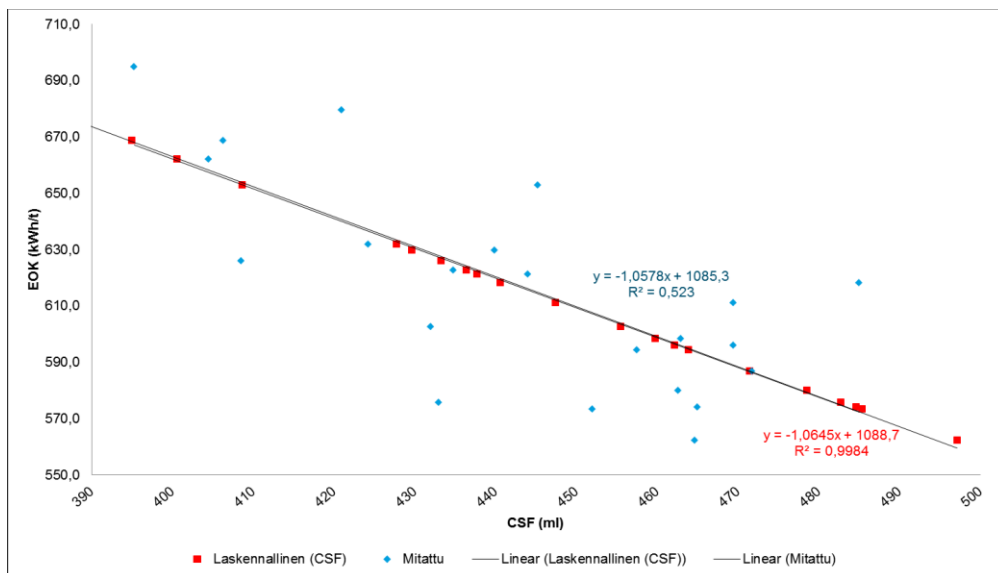
Kuvasta 64 havaitaan, että laskennallinen tulos noudattaa mitattujen arvojen mukaan samansuuntaista trendiviivaa, mutta se sijoittuu kuvaajassa korkeammalle. Tämä kertoo siitä, että parametrit eivät toteuta laskennallisen CSF:n yhtälöä oikein kartonkihiokkeen laatusektorilla. Parametrit A ja B on siis optimoitava uudelleen.

Parametrit A ja B optimoitiin Excelin solver-ominaisuudella suuntaviivaan, joka on esi-

tetty kuvassa 65. Optimoidut parametrit, todellinen EOK sekä laskennalliset CSF-luvut on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Mitatut ja laskennalliset arvot EOK- ja CSF-luvuille sekä optimoidut parametrit laskennallisten arvojen määrittämiseksi

Parametrit	CSF (ml)	EOK (kWh/t)	EOK, lask (kWh/t)	CSF, lask (ml)	EROTUS, EOK	EROTUS, CSF
A	464,7	562,3	593,5	497,1318544	31,2	-32,4
3437,0	452,0	573,4	606,4	485,3553046	33,0	-33,4
B	465,0	574,1	593,2	484,6220605	19,1	-19,6
463,0	433,0	575,9	626,2	482,7416582	50,3	-49,7
$CSF = e^{\frac{A-EOK}{B}}$	462,6	580,0	595,6	478,4857117	15,6	-15,9
	471,8	586,9	586,6	471,4078025	-0,3	0,3
	457,5	594,4	600,8	463,8331226	6,4	-6,3
	469,5	596,1	588,8	462,1331864	-7,3	7,4
	463,0	598,5	595,2	459,7438775	-3,3	3,3
	432,0	602,8	627,3	455,4938839	24,5	-23,5
	469,5	611,1	588,8	447,3642206	-22,4	22,1
	485,0	618,2	573,7	440,5927372	-44,5	44,4
	444,0	621,3	614,6	437,6526179	-6,7	6,3
	434,8	622,7	624,3	436,331261	1,6	-1,5
	408,5	626,0	653,2	433,2323972	27,2	-24,7
	439,9	629,9	618,9	429,614701	-11,0	10,3
	424,3	631,9	635,6	427,7467511	3,7	-3,4
	445,3	653,1	613,3	408,6399372	-39,8	36,7
	404,5	662,3	657,8	400,5636059	-4,5	3,9
	406,3	668,8	655,7	394,9794323	-13,1	11,3
	421,0	679,7	639,3	385,7893815	-40,4	35,2
	395,3	695,0	668,4	373,2491728	-26,6	22,1



Kuva 65. Laskennallisen CSF:n vertailu mitattuihin arvoihin parametrien toimivuuden varmistamiseksi

14.4. Valmiin massan CSF:n muodostuminen

Valmiin massan laadun määrittävät päälinjan lajittelun akseptimassa ja rejektilinjan akseptimassa. Prosessissa sakeuden muuttaminen ei vaikuta massan laatuominaisuuksiin. CSF-luku puolestaan muuttuu jokaisessa vaiheessa, joissa massaa joko lajitellaan kuidunpituuksien mukaan tai jauhetaan. Seuraavaksi tarkastellaan päälinjan painelajittelun vaikutusta hiokemassan CSF-lukuun.

Hiokemassasta otettiin näytteitä prosessilinjasta ennen ja jälkeen painelajitteluportaita. Näytteet analysoitiin kappaleessa 15.2.2. esitetyllä menetelmällä. Tulokset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. CSF:n muuttuminen H4 päälinjan painelajittelussa.

Näyte	Ennen lajittelua		Lajittelun jälkeen		Erotus
	Sakeus (%)	CSF (ml)	Sakeus (%)	CSF (ml)	CSF (ml)
1	1,05	416,7	0,79	301	115,7
2	1,27	393,5	1,06	287,5	106
3	1,20	456	1,06	338	118
Keskiarvo	1,17	422,1	0,97	308,8	113,2

Päälinjan akseptivirtauksen CSF laskee noin 422 ml:sta noin 310 ml:aan. Valmiin hioke-massan CSF koostuu päälinjan CSF:stä ja siihen sekoitettavasta rejektilinjan akseptivir-tauksen jauhatusasteesta. Päälinjan lajittelussa tapahtuva CSF:n pudotus voi kuitenkin vaihdella mitatuista arvoista riippuen syöttömassan jauhatusasteesta ja lajittelun syöt-tösakeudesta. Korkeammalla sakeudella ja hienommalla kivenalusmassalla saavutetaan pienempi pudotus, jos rejektisuhde pidetään vakiona. Rejektilinjan akseptin CSF vaihte-lee jauhimien tehon ja syöttösakeuden mukaan välillä 200-300 millilitraa. Toukokuussa tehdyn mittauksen perusteella rejektilinjalle syötettävän massan CSF oli päälinjan pai-nelajittimien F230 ja F231 jälkeen 515 ml ja painelajittimen F233 jälkeen 700 ml.

Valmis hiokemassa koostuu päälinjan lajittelun ja rejektilinjan akseptivirroista. Päälinjan lajitteluun massavirta tulee tasaisesti kolmelta hiomakiveltä, jolloin syöttövirran CSF on keskiarvo kolmen kivenalusmassan CSF-arvoista. 7.9.2016 tehdyn tarkastelun pohjalta CSF-pudotus lajittelussa oli noin 80 ml. Tämän diplomityön kappaleessa 15.5. on määritetty normaaliolosuhteissa rejektin osuudeksi päämassasta 11,9 %. Luku perustuu virtausrejektisuhteisiin. Mitattu rejektivirran akseptin CSF oli 270 ml. Taulukkoon 14 on kerätty 6.-7.9.2016 yhden päivän EOK-mittaustuloksien pohjalta tehty laskelma valmiin massan CSF-luvun muodostumisesta.

Taulukko 14. Valmiin massan CSF-luvun muodostuminen H4-osahiomalinjalla.

	Kivenalusmassa		R4 rejektilinjan aksepti	CSF pudotus päälinjan lajittelussa		Päälinjan lajittelun syöttömassa CSF _{pl1} = (CSF _{E461} +CSF _{E462} + CSF _{E452})/3 (massavirrat hiomakoneilta samat)
Hiomakone	EOK (kWh/t)	CSF _{lask} (ml)	CSF _r (ml)	CSF _p (ml)		
E461	665	399	270	80		
E462	632	429	Parametrit	CSF päälinjan lajitteluun		
E452	635	426	A = 3438	CSF _{pl1} (ml)		
CSF _{lask} = e ⁿ ((A-EOK)/B)			B = 463	418		
CSF päälinjan lajittelun jälkeen			Prosenttiosuudet valmiissa massassa			CSF valmis hiokemassa
CSF _{pl2} (ml)			Massa	Merkintä	Prosenttiosuus (%)	CSF _{pl2} * x _{pl} + CSF _r * x _r
338			Päälinjan lajittelun aksepti	x _{pl}	88,1	CSF _{valmis}
			Rejektilinjan aksepti	x _r	11,9	330
Rejektilinjan akseptin prosenttiosuus valmiissa massassa laskettu kappaleessa 14.5. Prosenttiosuus perustuu tunnettuihin virtausrejektisuhteisiin.						

Prosessissa tapahtuvasta vaihtelulusta johtuen taulukon arvot ovat vain suuntaa-antavia. Laskenta tukee päätelmää siitä, että hiomakoneiden EOK:t on syytä pitää kivi-käsittelyn avulla 550-650 kWh/t -tasolla, jotta valmiin hiokemassan CSF pysyy tavoitearvon kokoluokassa. Taulukoissa 16 ja 17 on osoitettu rejektilinjan akseptin vaikutus valmiin massan CSF-lukuun. Taulukossa 16 rejektilinjan akseptin CSF-arvoksi on asetettu 200 ml, ja taulukossa 17 arvo on 300 ml. Vaikutus valmiin massan CSF-lukuun on 12 ml raja-arvosta toiseen.

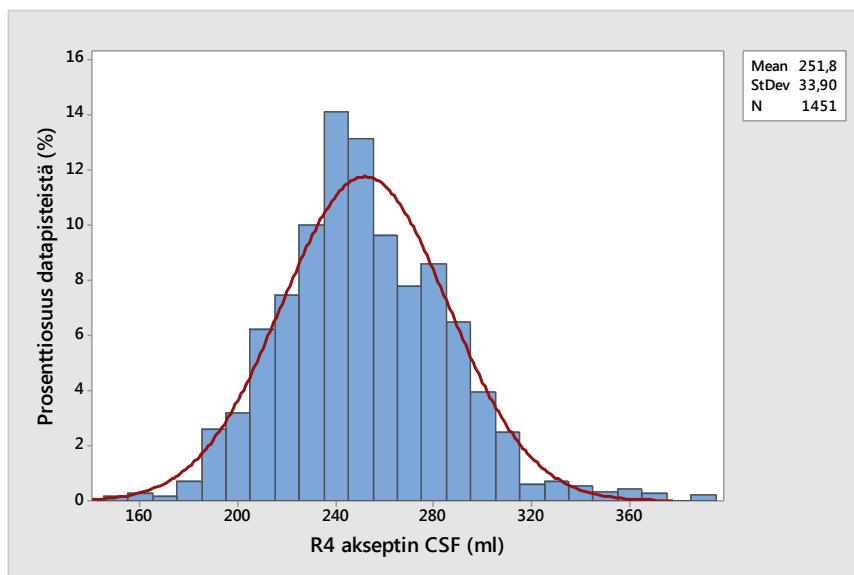
Taulukko 16. Valmiin hiokemassan CSF-luvun muodostuminen (CSF,R4=200ml)

	Kivenalusmassa		R4 rejektilinjan aksepti	CSF pudotus päälinjan lajittelussa		Päälinjan lajittelun syöttömassa CSF,pl1 = (CSF,E461+CSF,E462+ CSF,E452)/3 (massavirrat hiomakoneilta samat)
Hiomakone	EOK (kWh/t)	CSF,lask (ml)	CSF,r (ml)	CSF,p (ml)		
E461	665	399	200	80		
E462	632	429	Parametrit	CSF päälinjan lajitteluun		
E452	635	426	A = 3438	CSF,pl1 (ml)		
CSF,lask = e ^y ((A-EOK)/B)			B = 463	418		
CSF päälinjan lajittelun jälkeen			Prosenttiosuudet valmiissa massassa			CSF valmis hiokemassa
CSF,pl2 (ml)			Massa	Merkintä	Prosenttiosuus (%)	CSF,pl2 * x,pl + CSF,r * x,r
338			Päälinjan lajittelun aksepti	x,pl	88,1	CSF, valmis
			Rejektilinjan aksepti	x,r	11,9	321
Rejektilinjan akseptin prosenttiosuus valmiissa massassa laskettu kappaleessa 14.5. Prosenttiosuus perustuu tunnettuihin virtausrejektisuhteisiin.						

Taulukko 17. Valmiin hiokemassan CSF-luvun muodostuminen (CSF,R4=300ml)

	Kivenalusmassa		R4 rejektilinjan aksepti	CSF pudotus päälinjan lajittelussa		Päälinjan lajittelun syöttömassa CSF,pl1 = (CSF,E461+CSF,E462+ CSF,E452)/3 (massavirrat hiomakoneilta samat)
Hiomakone	EOK (kWh/t)	CSF,lask (ml)	CSF,r (ml)	CSF,p (ml)		
E461	665	399	300	80		
E462	632	429	Parametrit	CSF päälinjan lajitteluun		
E452	635	426	A = 3438	CSF,pl1 (ml)		
CSF,lask = e^((A-EOK)/B)			B = 463	418		
CSF päälinjan lajittelun jälkeen			Prosenttiosuudet valmiissa massassa			CSF valmis hiokemassa
CSF,pl2 (ml)			Massa	Merkintä	Prosenttiosuus (%)	CSF,pl2 * x,pl + CSF,r * x,r
338			Päälinjan lajittelun aksepti	x,pl	88,1	CSF,valmis
			Rejektilinjan aksepti	x,r	11,9	333
Rejektilinjan akseptin prosenttiosuus valmiissa massassa laskettu kappaleessa 14.5. Prosenttiosuus perustuu tunnettuihin virtausrejektisuhteisiin.						

Kuvassa 66 on esitetty rejektilinjan akseptimassan histogrammi kesä-heinäkuulta 2016. Siitä huomataan, että CSF on keskimäärin 250 ml. Tällöin rejektijauhatusta lisäämällä tai vähentämällä välillä 200-300 ml saadaan aikaan vain 6 ml muutos suuntaansa. Prosessin vaihteluherkkyyden sekä Pulp Expert -laitteen mittaustuloksien virhemarginaalin vuoksi muutos valmiin hiokemassan CSF-lukuun on erittäin pieni. Tämä ei kuitenkaan poista rejektijauhatuksen tärkeyttä, sillä hienojakoisemman rejektijakeen tehtävänä on laskea valmiin hiokemassan CSF sopivalle tasolle, jotta tavoiteltuun lujuteen päästään.

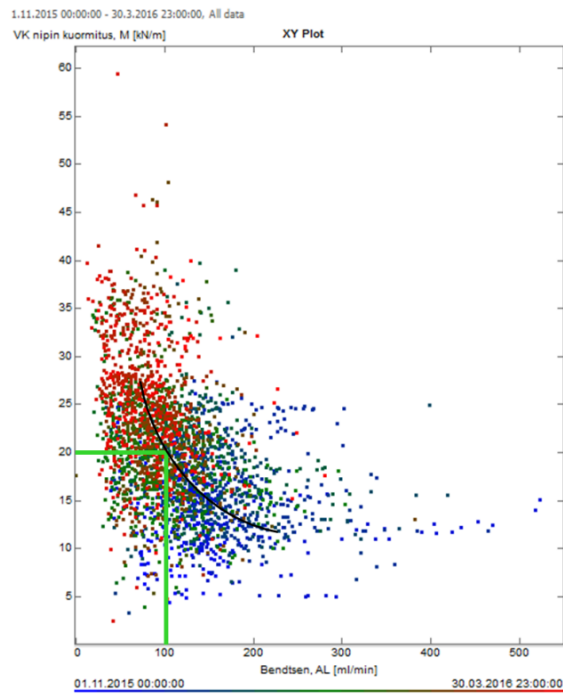


Kuva 66. R4 rejektilinjan akseptin CSF histogrammina kesä-heinäkuulta 2016.

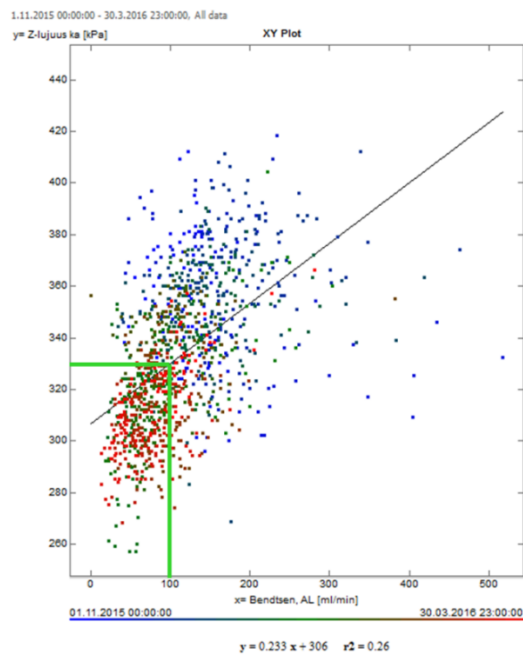
14.5. Hiokkeen laatuvaatimusten tarkastelu

Inkeröisten kartonkitehdas määrittää Anjalan paperitehtaan hiomon H4 osahiomalinjan laatuvaatimukset. Laadullinen kriteeri valmiille massalle on CSF-luku. Siihen vaikuttavat taivekartongin tavoiteltu sileys, bulkki ja lujuusarvot, kuten palstautumis- ja vetolujuus. Kartonkitehtaalla on kartongin valmistuksessa havaittu, että CSF:n noustessa lujuusarvot heikkenevät, bulkki laskee ja sileys kasvaa. Jos CSF:ää lasketaan, lujuusarvot paranevat ja sileys laskee. Tässä kappaleessa tarkastellaan teoreettisesti arkistoituun dataan perustuen CSF-luvun laskemisen vaikutusta sileyteen, bulkkiin ja taivekartonkin lujuusominaisuuksiin. Mittausarvot ovat aikajaksolta 1.11.2015-30.3.2016.

Kartonkitehtaan laadunvalvonnassa on asetettu optimiarvo sileydelle välikalanterin kuorman mukaan. Välikalanterin kuorman ollessa vähintään 20 kN/m, saadaan sileydeksi maksimissaan 100 ml/min Bendtsen-mittarilla. Tällä sileydellä palstautumislujuus on noin 330 kPa. Kuvassa 67 on esitetty välikalanterin kuorma sileyden funktiona ja kuvassa 68 palstautumislujuus (z-lujuus) sileyden funktiona.

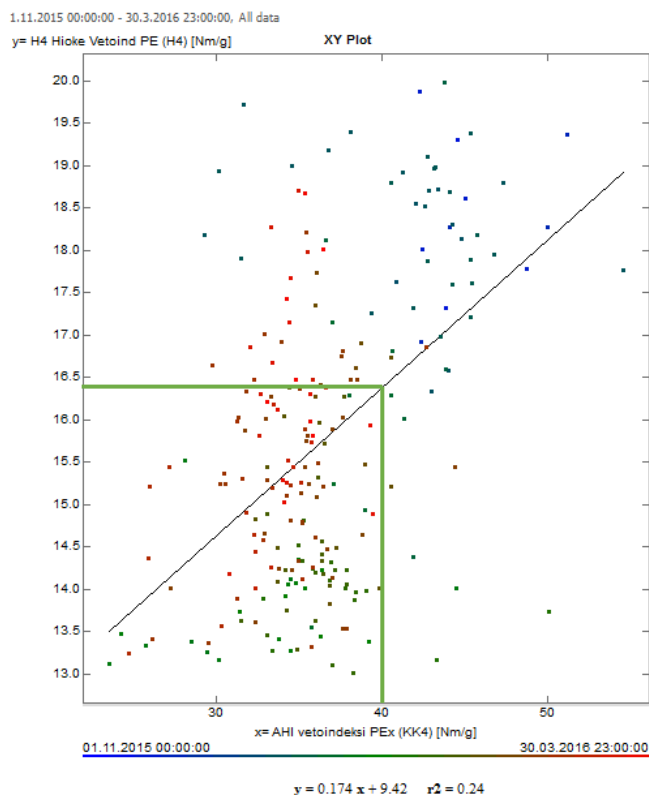


Kuva 67. Välikalanterin kuorma sileyden funktiona.



Kuva 68. Palstautumislujuus sileyden funktiona.

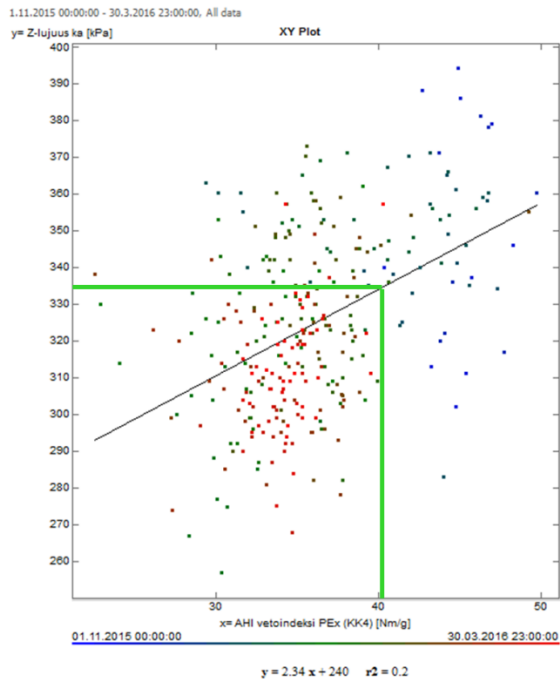
Palstautumislujuutta voidaan tarkastella kartonkikoneen oman hiokkeen laatua tarkastelevan Pulp Expert -laitteen mittaaman vetolujuuden funktiona. KK4 koneen Pulp Expert -laite ei anna mittaukselle samoja hiomon vastaavan laitteen kanssa, sillä laitteet ovat toisistaan riippumattomia, eikä KK4:n laitetta ei ole asetettu samoihin asetuksiin kuin hiomon laite. Saadut mittaustulokset ovat kuitenkin oikeanlaisesti suuntaa-antavia, kuten käy ilmi kuvasta 69, jossa on esitetty KK4 ja hiomon Pulp Expert -laitteiden vetolujuusmittaukset.



Kuva 69. KK4 PEx-vetolujuus hiomon valmiin massan PEx-vetolujuuden funktiona

Kun tavoite palstautumisluvulle on selvitetty, voidaan määrittää tavoitearvo vetolujuudelle KK4 Pulp Expertin vetolujuusmittauksen avulla. Palstautumislajuuden ollessa 330 kPa, saadaan vetolujuudelle tavoitearvoksi 40 Nm/g. Tämä on nähtävissä kuvasta 70,

jossa on esitetty palstautumislujuus vetolujuuden funktiona.



Kuva 70. Palstautumislujuus KK4 mittaaman hiokkeen vetolujuuden funktiona

Kun kuvan 70 mukainen vetoindeksi 40 Nm/g asetetaan kuvaan 69, saadaan tavoite vetoindeksiksi hiomon Pulp Expert -laitteella noin 16,5 Nm/g. Kun tämä arvoa puolestaan tarkastellaan kuvan 58 arvojen kanssa, huomataan, että valmiin hiokkeen CSF-tavoite, 330ml, asettuu taivekartongin laatuvaatimusten kanssa 16,6 Nm/g vetoindeksi kohdalle.

Laatuvaatimusten tarkastelu on vain suuntaa-antava, sillä tehtaiden välisten mittauslaitteiden erot aiheuttava x-y -korrelaatioiden R2-arvojen heikkouden. Tarkempaa laatuvaatimusten tarkastelua varten on suoritettava tarkemmat laboratoriomääritykset myös kartonginlaatuominaisuuksista.

15. Hiontaprosessin ajomallin kehittäminen

15.1. Koeajosuunnitelma

Koeajot suoritetaan tämän diplomityön kirjallisuusosan sekä kokeellisen osan alun havaintoihin perustuen. Kokeiden ensimmäisessä vaiheessa tasataan tuotannon laatua, minkä jälkeen tutkitaan niin hiontaan kuin rejektiin tehtävien muutosten vaikutusta valmiin massan laatuun. Valmiille massalle etsitään uutta laatutavoitetta (CSF-tasoa) myös teoreettisesti alkuvuoden 2016 datan perusteella. Näiden lisäksi tutkitaan uusien laatutavoiterajojen toimivuutta sekä vuorojen välisten tuotantomäärien ja hiokkeen laatuominaisuuksien vaihteluiden syitä. Tavoitteena koeajoille on löytää keinoja laadun hallintaan sekä tarkastella CSF-luvun muutoksen vaikutusta taivekartongin laatuominaisuuksiin, kuten sileyteen ja palstautumislujuuteen.

Koeajojen ensimmäisessä vaiheessa on tarkoitus stabiloida valmiin massan laatu sopivan vaihteluvälin sisään. Stabilointi perustuu 11/15-3/16 aikavälillä mitattuihin hiomakoneiden EOK-arvoihin ja valmiin massan CSF-lukuun sekä rejektin jauhimien tehonottoon ja rejektiakseptin CSF-lukuun. Lisäksi ensimmäisen vaiheen aikana tehdään kahdesti viikossa kivenalusmassoista laboratoriomääritykset CSF:lle, tikkupitoisuudelle, kuidunpituudelle sekä veto- ja repäisylujuudelle. Näistä määrityksistä repäisylujuus tutkitaan vain suuntaa-antavan ominaisuutena lujuuksille. Koejakso ensimmäiselle vaiheelle on kaksi viikkoa.

Toisessa vaiheessa tutkitaan rejektinlinjan akseptimassan vaikutusta valmiin hiokemas-
san laatuun. Koe tehdään joko jauhimien tehoja säätämällä tai laskennallisesti valmiin
massan CSF-arvon muodostumisen mukaan. Hiomakoneiden prosessiasetuksiin ja EOK-
rajoihin ei tehdä muutoksia, jolloin voidaan tarkastella pelkästään rejektilinjan massan
vaikutuksia. Samalla tutkitaan rejektilinjan akseptimassan laatuominaisuuksia ja niiden

korrelaatiota kivenalusmassan ja valmiin hiokemassan laatuominaisuuksiin.

Koeajon kolmannessa vaiheessa lisätään vaiheittain päälinjan lajittelun rejektisuhdetta. Hiomakivien ja rejektin jauhimien prosessiasetukset pidetään vakiona, jolloin voidaan tarkastella pelkän rejektisuhteen muutoksen vaikutusta valmiin massan laatuominaisuuksiin. Lajittelun muutoksien vaikutuksia tutkitaan sekä valmiin massasta että rejektin linjan akseptista. Massoista määritetään CSF, vetolujuus ja mahdollisuuksien mukaan kuitujakauma.

Koeajojen jälkeen ajo-ohjelmaksi asetetaan tulosten perusteella eri vaiheista havaitut parhaat prosessiasetukset hiomakiville, päälinjan lajittimille ja rejektin jauhatukselle. Asetuksia koeajetaan kahdesta kolmeen päivään kerrallaan ja saatujen tulosten perusteella asetuksia muutetaan tarpeen mukaan.

Vesiteräyksen vaikutusta valmiin hiokemassan CSF-arvoon tarkastellaan normaalin prosessiajon ohessa. Sorvauksen ja rullateräyksen toimintatapaa tarkastellaan haastatteleamalla prosessioperaattoreita. Sorvausta ja rullateräystä ohjaamaan valmistellaan kivi-käsittelykalenteri.

Prosessin muuttujien lisäksi tarkastellaan inhimillisten tekijöiden vaikutusta ajotapaan ja tuotetun massan laatuun. Vuorokohtaisia eroja tarkastellaan aikajaksoilta ennen koeajojen aloittamista ja uusien käytäntöjen käyttäajalta.

15.2. Laatumäärittelykset massalaboratoriossa

Massalaboratoriossa tehdään laadulliset määrittelykset, joita ei voida tehdä online-mittauksella Pulp Expert -laitteella. Kivenalusmassoja ei voida tutkia online-mittauksella, sillä massan sakeus ja tikkupitoisuus ovat liian korkeita Pulp Expertille,

joka tukkeutuisi näitä määrittäviä tehtäessä. Massanäytteitä otetaan eri vaiheissa kiven alta, valmiista massasta sekä rejektinlinjan akseptimassasta. Kivenalusmassojen keräykset kestävät tunnista kahteen. Keräilyn tekevät prosessinhoitajat näytteenottopäivinä välittömästi aamulla töihin tullessaan.

Valmiin ja rejektinlinjan akseptimassan sakeudet ovat valmiiksi sopivalla tasolla määrittäviä varten. Kivenalusmassa on puolestaan liian sakeaa, joten ennen määrittäviä massaa pitää laimentaa kylmällä vedellä. Veden määrällä ei varsinaisesti ole määrittäviä tehtäessä vaikutusta tuloksiin, joten laimennus tehdään silmämääräisesti niin, että massa ohenee sopivasti.

Kaikista näytteistä määritetään näytteen sakeus. Näytteistä punnitaan noin 350 g, minkä jälkeen massa suodatetaan kahden muovikalvon läpi. Tämän jälkeen näytteestä puristetaan puristimella ylimääräinen neste pois. Massakiekkoa kuivatetaan lämpölevyjen välissä noin kymmenen minuuttia, kunnes kiekko on kuiva ja jäähdytetään eksikaattorissa toiset kymmenen minuuttia. Kuivatun massan painosta ja näytteen painosta saadaan laskettua näytteen sakeus kaavan 27 mukaan.

$$\text{näytteen sakeus} = \frac{\text{kuivatun massan paino (g)}}{\text{näytteen paino (g)}} \quad (27)$$

Näytteen sakeudesta voidaan laskea CSF-, tikkupitoisuus-, ja lujuusominaisuusmittauksiin tarvittavat kuivan kuidun (abs) määrät eli kuinka paljon näytettä tarvitaan, jotta siinä on vaadittu määrä kuituja. Eri mittauksiin tarvittavat kuivan kuidun määrät on esitetty taulukossa 16. Näyte punnitaan määrittäystä varten kaavan 28 mukaisesti.

$$\text{tarvittava näytteen paino} = \frac{\text{abs.kuiva massa (g)}}{\text{näytteen sakeus (\%)}} \quad (28)$$

Taulukko 16. Kuivan massan painot eri mittauksia varten

Määrittys	CSF	Tikkupitoisuus	Lujuusominaisuudet
Abs. kuiva massa	3 ml	5 g	1,9 g

15.2.1. Tikkupitoisuuden määrittäminen

Tikkupitoisuus määritetään Pulmac-laitteella, joka on esitetty kuvassa 71. Tikkupitoisuusnäytteeseen punnitaan 5 g kuivaa massaa vastaava määrä näytettä. Jos näytteen sakeus on esimerkiksi 0,01272, punnitaan massaa kaavan (28) mukaan

$$m_{pulmac} = \frac{5 \text{ g}}{0,01272} = 393,1 \text{ g}$$



Kuva 71. Pulmac-laite tikkupitoisuuden määrittämiseen.

Näyte syötetään laitteeseen, joka erottaa tikut muusta näytteestä. Massa huuhdellaan

varovaisesti keräysastiasta talteen ja suodatetaan ennakkoon punnitun suodatinpaperin läpi. Tämän jälkeen suodatettu massa kuivataan uunissa vähintään kahden tunnin ajan ja jäähdytetään eksikaattorissa. Tikkupitoisuus lasketaan kaavan 29 mukaan.

$$\text{Tikkupitoisuus (\%)} = \frac{\text{kuivattu tikkumassa (g)}}{\text{abs.kuiva massa (g)}} \cdot 100 \% \quad (29)$$

Esimerkin tapauksessa suodatinpaperin paino oli 0,815 g ja suodatinpaperin ja tikkujen yhteispaino 1,313 g. Tikkupitoisuudeksi saatiin

$$\text{Tikkupitoisuus (\%)} = \frac{1,313 \text{ g} - 0,815 \text{ g}}{5 \text{ g}} \cdot 100 \% = 9,96 \%$$

15.2.2. CSF-luvun määrittäminen

CSF-luvun määrittämistä varten tarvitaan taulukon I. mukaisesti 3 grammaa abs. kuivaa massaa. Muista määrittämisistä poikkeavasti punnitsemisen sijaan mitataan hyvin sekoitetusta näytteestä kaavaa 28 soveltaen mukaan vastaava tilavuus. Jos näytteen sakeus on 0,01272, saadaan tarvittavaksi näytteen tilavuudeksi

$$V_{CSF} = \frac{3 \text{ ml}}{0,01272} = 235,8 \text{ ml}$$

Mitattu näyte laimennetaan 1000 millilitraan ja kaadetaan CSF-mittauslaitteen suotautusastiaan. CSF-mittauslaite esiteltiin kappaleessa 5.1. Kun pohjakansi avataan, neste valuu sihtilevyn läpi ja putoaa suppiloon. Sivusuuttimesta erotettu vesi punnitaan ja tulokseksi saadaan CSF-luku. Tämän jälkeen sihtilevyn pintaan suotautuneesta massasta mitataan lämpötila, jonka perusteella tehdään lämpötilakorjaus CSF-luvulle. Lämpötilakorjaustaulukko on esitetty liitteessä C. CSF-mittaus toistetaan kunnes saadut tulokset ovat 2 % sisällä toisistaan. Esimerkkitapauksessa mittauksen lämpötilakorjatut CSF-

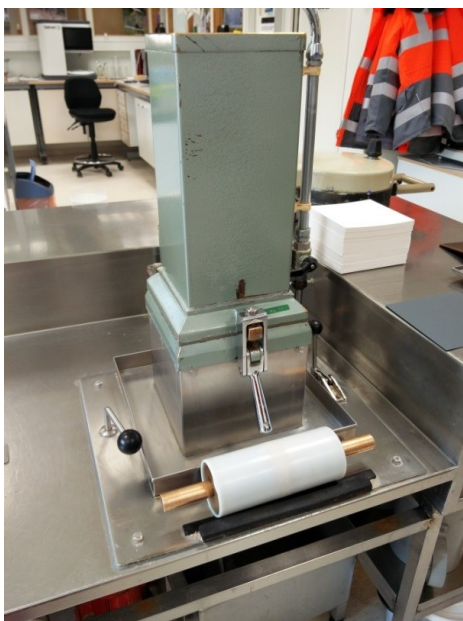
luvut olivat 465 ml ja 465,4 ml, ja näiden keskiarvo 465,2 ml.

15.2.3. Veto- ja repäisyjuuuden määrittäminen

Jotta veto- ja repäisyjuuus voidaan määrittää näytteen massalle, tulee siitä ensin valmistaa arkkeja. Arkkeja valmistetaan kolme kappaletta kutakin näytettä kohden. Taulukon 15. mukaisesti punnitaan kolme näyte-erää, joiden abs. kuivapaino on 1,9 grammaa. Jos näytteen sakeus on esimerkiksi 0,01272, punnitaan massaa kaavan (28) mukaan

$$m_{arkkeihin} = \frac{1,9 \text{ g}}{0,01272} = 149,4 \text{ g}$$

Arkit valmistetaan arkkimuottilaitteella, joka on esitetty kuvassa 72. Arkkimuotti täytetään vedellä ja punnittu massanäyte kaadetaan kammioon. Massa sekoitetaan ja imeytetään arkkiviiralle. Muodostuneen arkin päälle asetetaan imupaperia ja se kaulitaan, jolloin arkista poistuu hieman vettä.



Kuva 72. Arkkiviiralaite

Kaikki kolme arkkiä pinotaan päällekkäin, niin, että niiden välissä on kaksi imupaperia ja asetetaan puristimeen neljäksi minuutiksi. Puristuksen jälkeen arkit erotetaan ja laite-
taan kuivausrumpuun vähintään kahdeksi tunniksi. Puristin ja kuivausrumpu on esitetty
kuvassa 73.



Kuva 73. Puristin ja kuivausrumpu massalaboratoriossa

Kuivauksen jälkeen arkit viedään ilmastoitumaan ilmastointihuoneeseen vähintään 30 minuutiksi. Tämän jälkeen arkit ovat valmiita lujuusominaisuuksien määrittämistä varten.

Valmiit arkit leikataan $0,0225 \text{ m}^2$ ($15\text{cm} \times 15\text{cm}$) kokoisiksi, jotta näytteelle voidaan määrittää neliömassa. Mittaan leikatut arkit punnitaan ja tulos kirjataan ylös. Seuraavaksi määritetään näytteen neliömassa, jota tarvitaan repäisyindeksin laskemiseen. Neliömassa lasketaan kaavan (30) mukaan.

$$\text{neliömassa} = \rho_A = \frac{\text{arkkien massa (g)}}{\text{pinta-ala (m}^2\text{)}} \bigg/ \text{arkkien määrä} \quad (30)$$

Esimerkkitapauksessa arkkien painoksi saatiin 4,644 g ja niitä oli kolme kappaletta. Tällöin neliömassaksi saadaan

$$\rho_A = \frac{4,644 \text{ g}}{0,0225 \text{ m}^2} / 3 = 68,8 \text{ g/m}^2$$

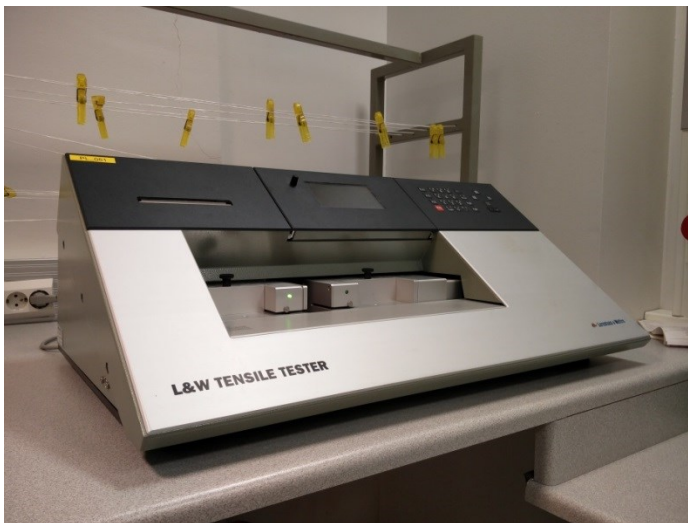
Repäisylujuus määritetään laitteella, joka on esitetty kuvassa 74. Määrittystä varten arkeista leikataan laitteen vaatimia kappaleita, joita tulee olla vähintään kolme kappaletta. Laite laskee repäisylujuuden ja laskee automaattisesti erillisten testien keskiarvon. Repäisyindeksi lasketaan kaavan (3) mukaisesti. Esimerkkitapauksessa laite laski repäisylujuuden keskiarvoksi 0,189 N. Repäisyindeksiksi saadaan tällöin

$$\text{repäisyindeksi} = \frac{0,189 \text{ mN}}{68,8 \text{ g/m}^2} = 2,74 \text{ Nm}^2/\text{kg}$$



Kuva 74. Repäisylujuuden määrittämiseen käytettävä, Lorentzen & Wettren (L&W) valmistama laite

Vetolujuus testataan aiemmin valmistetuista arkeista kuvassa 75 esitetyllä laitteella. Testejä varten arkeista leikataan vähintään viisi suikaletta, joissa on mahdollisimman vähän suuria tikkuja. Laite vetää liuskoja kummastakin päästä ja määrittää murtumiseen tarvittavan voiman. Koneeseen syötetään arkkien neliömassa, josta se automaattisesti laskee massan vetoindeksin kaavan (4) mukaisesti. Esimerkkitapauksessa laite laski viiden testin keskiarvoksi vetoindeksille 11,77 Nm/g.

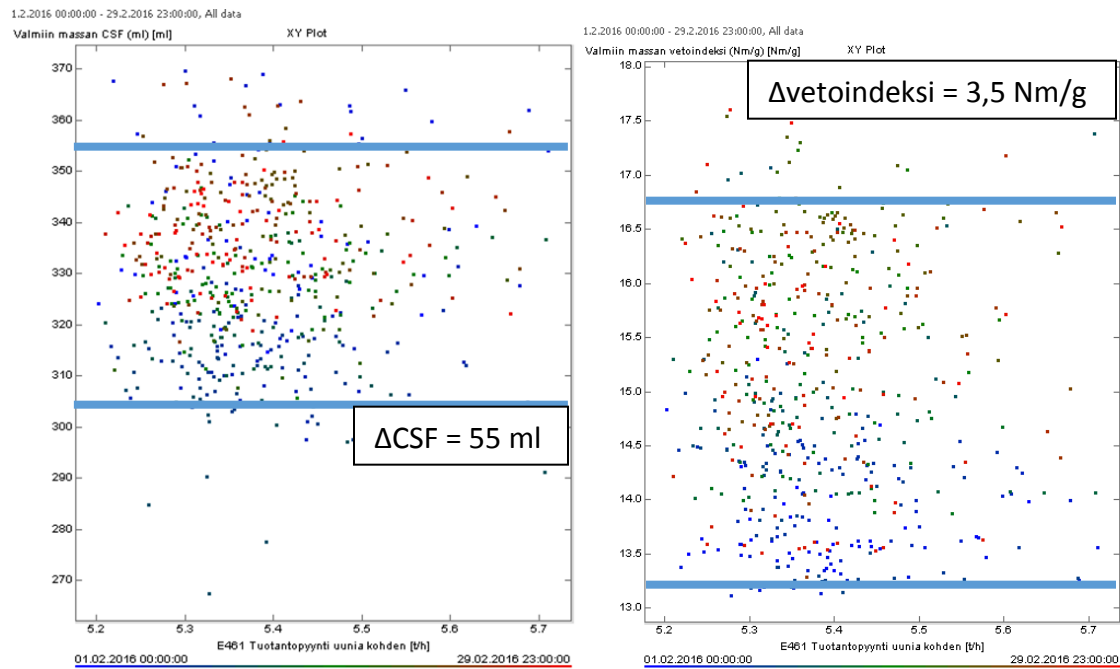


Kuva 75. L&W:n valmistama vetolujuusmittauslaite

15.3. Tuotantonopeuden tasaaminen kaikilla osahiomalinjan hiomakoneilla

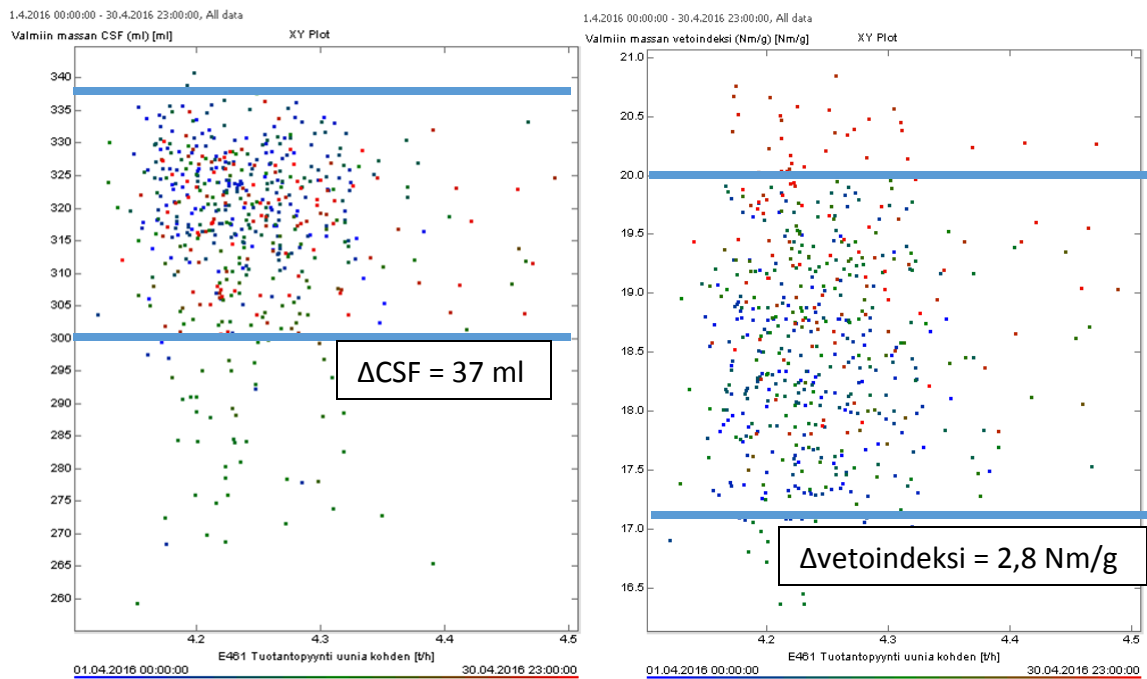
H4 -osahiomalinjalla ajettiin keväällä 2016 maksimissaan 5 t/h tuotantonopeudella uunina kohden. Kyseisellä tuotantonopeudella prosessissa kaksi hiomakonetta ajaa kummallakin uunilla ja yksi hiomakone vuorohionnalla. Tällä ajotavalla laatumittausten mukaan helmikuussa 2016 valmiin hiokkeen CSF oli keskimäärin 330 ml. Laadullisesti CSF vaihteli kuitenkin rajusti. Maksimi CSF oli noin 370 ml ja minimi painui alle 300 millilitran. Vetoindeksi vaihteli helmikuussa 2016 noin 13,5 Nm/g ja 17 Nm/g välillä. Kuvassa 76 on esitetty tuotantonopeus valmiin hiokkeen CSF:n sekä tuotantonopeus valmiin hiokkeen vetoindeksi funktiona helmikuulta 2016. Kuvaaajista nähdään laadussa tapah-

tuva vaihtelu asetetulla tuotantonopeudella.



Kuva 76. Valmiin hiokkeen CSF (vasemmalla) ja vetoindeksi (oikealla) helmikuussa 2016

Tuotannon ja laadun tasaamiseksi maaliskuussa 2016 tuotantonopeudet laskettiin 4 t/h ja kaikki kolme hiomakonetta otettiin täyteen ajoin. Tällä toimenpiteellä ei saavuteta niinkään totaalista laadun hallintaa, vaan mahdollistetaan prosessin hallinta muilla keinoilla. Kaikkien hiomakivien ollessa täydessä käytössä ja tuotantonopeuksien ollessa yhtenäiset voidaan kivenalusmassan laatua seurata hiomakoneiden EOK-arvojen avulla. Huhtikuussa 2016 valmiin massan CSF-luvun keskiarvo laski noin 320 millilitraan, mutta vaihteluväli kiristyi pääasiassa välille 300-340 millilitraa. Myös vetoindeksissä tapahtui selvää parannusta sekä yleisen tason, että vaihteluvälin suhteen. Vaihteluväli vetoindeksille oli noin 17-20 Nm/g. Edellä mainitut muutokset ovat nähtävissä kuvassa 77.



Kuva 77. Valmiin massan CSF ja vetoindeksi tuotantonopeuden funktiona huhtikuussa 2016.

Taulukoon 18 on kerätty keskiarvot helmikuulta ja huhtikuulta 2016 selventämään saavutettua muutosta tuotantonopeuden laskemisella. Tärkein huomio on, että vaihteluväli ja vetoindeksi ovat parantuneet huhtikuussa helmikuun arvoista. Kolmannen kiven lisääminen tuotantoon ja tuotantonopeuden tasaaminen ei vaikuta teoreettiseen kivituo-
tontoon lainkaan. Kivituo-
tonto helmi- ja maaliskuussa on esitetty myös taulukossa 18.

Taulukko 18. Keskiarvot tuotantonopeuksille, valmiin massan CSF-luvulle ja vetoindeksille helmi- ja maaliskuussa 2016.

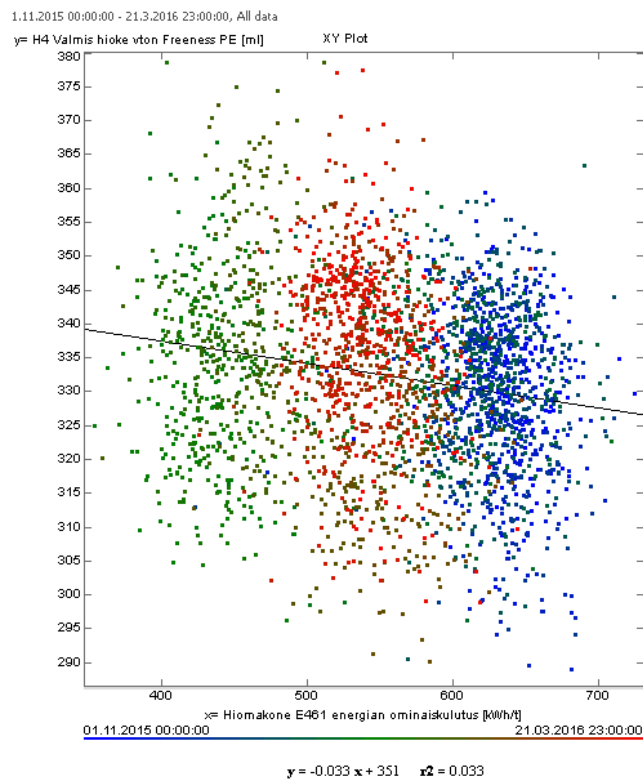
Tuotantonopeus (t/h/uuni)		Vetoindeksi (Nm/g)		CSF (ml)	
Helmikuu 2016	Huhtikuu 2016	Helmikuu 2016	Huhtikuu 2016	Helmikuu 2016	Huhtikuu 2016
5,4	4,23	14,99	18,41	330	319
Kivituo- tonto yhteensä (t/h)				Maksimi CSF	Maksimi CSF
Helmikuu 2016	24	Huhtikuu 2016	24	370	341

15.4. Painehiontaprosessin stabilointi määrättyyn laatuun

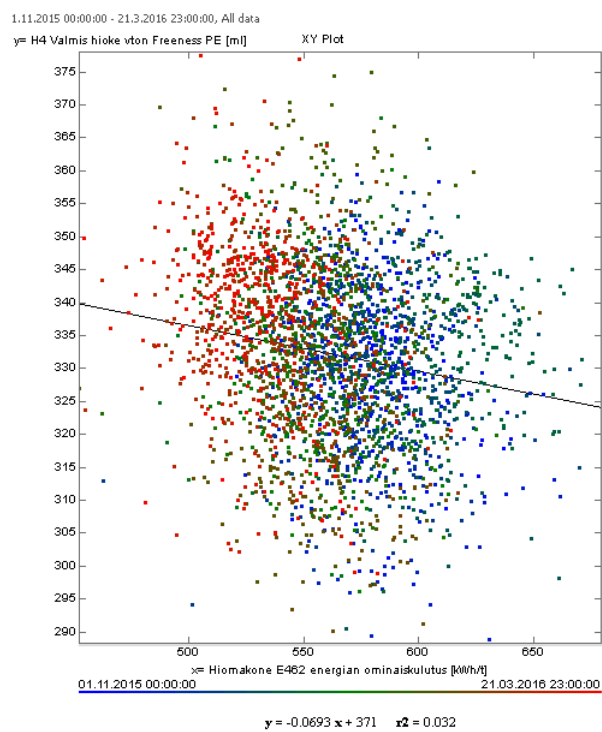
Prosessin stabiloinnin tavoitteena on saada sekä valmiin massan että rejektilinjan akseptin laatu stabiloitua määrätyn laatuputken sisälle mahdollisimman pienillä vaihteiluilla. Stabilointi tehdään, jotta seuraavissa koeajon vaiheissa voidaan paremmin tarkastella tehtyjen muutosten vaikutusta valmiin massan laatuun.

15.4.1. Hiomakoneiden stabilointi

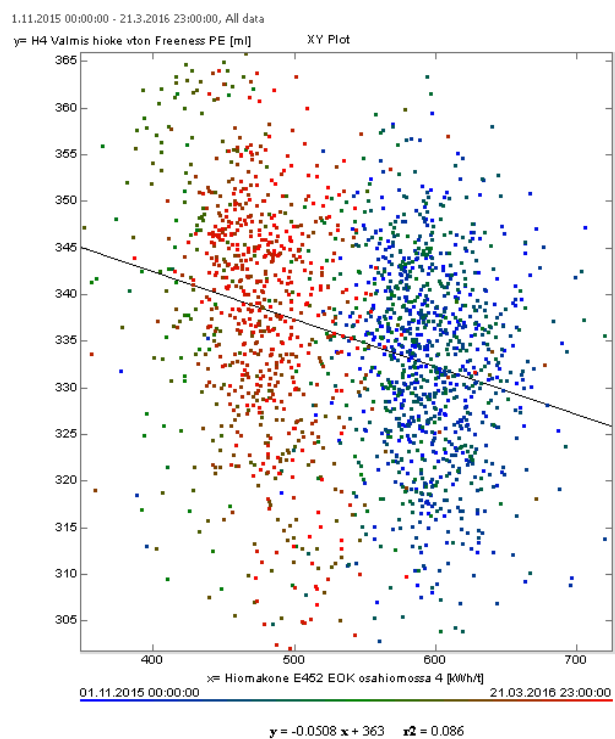
Hiomakoneen EOK:n vaikutusta laatuominaisuuksiin käsiteltiin kappaleessa 6.2.1. Teorian pohjalta todettiin EOK:n laskemisen nostavan CSF-lukua. Hiomakoneiden 461, 462 ja 452 energianominaiskulutuksia aikavälillä 1.11.2015-22.3.2016 on tarkasteltu kuvissa 78, 79 ja 80. Kuvissa esitetystä kuvaajista havaitaan, miten jokaisen koneen EOK:t ovat jakautuneet laajalle välille ja kuinka laajaa hajonta CSF-luvuissa on.



Kuva 78. Hiomakoneen 461 EOK CSF:n funktiona tarkastelujakson aikana



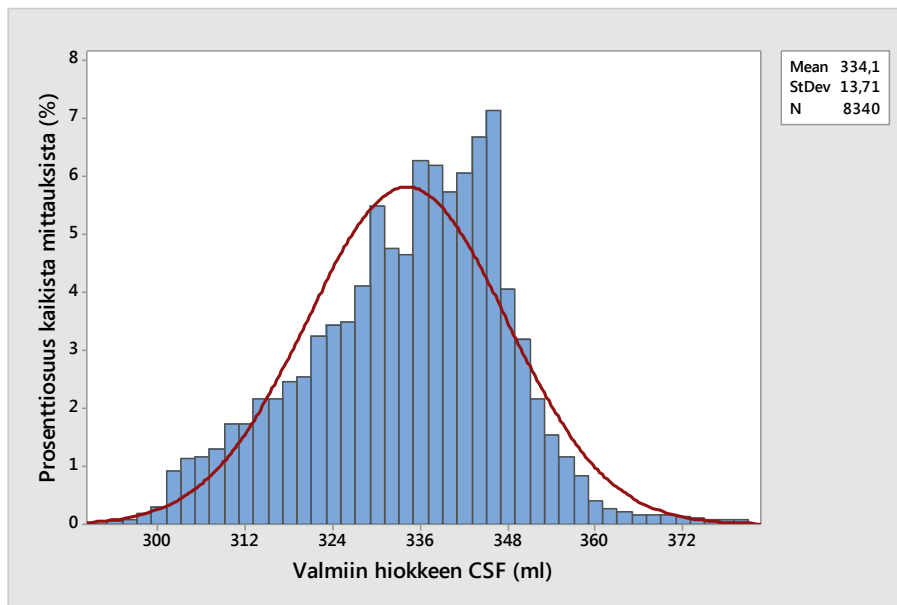
Kuva 79. Hiomakoneen 462 EOK CSF:n funktiona tarkastelujakson aikana



Kuva 80. Hiomakoneen 452 EOK CSF:n funktiona tarkastelujakson aikana

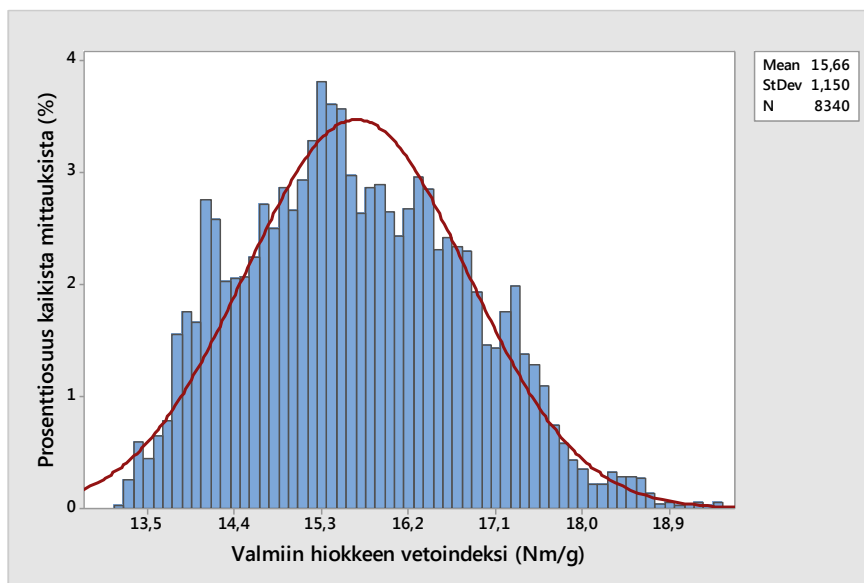
Kuvista 78, 79 ja 80 kaikista havaitaan, kuinka tietyn ajanjakson CSF-luvut asettuvat omalle EOK-välilleen. Ajanjaksot nähdään kuvista eri väreillä merkittyinä. Skaala on merkitty kuvien alle. Tuloksista voidaan päätellä, että kullekin koneelle voidaan asettaa oma toimintaraja EOK:lle, joka on puolestaan sidottu uuteen, tarkempaan CSF-putkeen. Nykyinen tavoitearvo CSF:lle on 330 ml, ja hyväksyttävä vaihtelu arvossa on ± 30 ml. Kartonkitehtaalta on kuitenkin raportoitu, että jo 340 ml jälkeen lujuusominaisuudet, kuten vetoindeksi ja palstautumislujuus ovat heikenneet liian paljon. CSF-luvun madaltamisella pitäisi saavuttaa parempi lujuus taivekartonkiin. Kuvien 78, 79 ja 90 perusteella CSF-luvulle voidaan asettaa alarajaksi 230 ml. Stabilointiin asetetaan CSF:n vaihteluväliksi $\pm 30/-50$ ml, ja ohjeistukseen lisätään maininta, että CSF-luku pidetään lähtökohtaisesti mielummin rajan alapuolella kuin sen yläpuolella.

Kun tarkastellaan kaikkien kolmen koneen EOK:en keskiarvoa ajanjaksolta marraskuu 2015 maaliskuu 2016 havaitaan, että EOK:n ollessa noin 530-630 kWh/t saavutetaan suurin osuatiheys asetetulle uudelle CSF-välille. EOK-rajoilla pitäisi siis pystyä myös stabiloimaan laadun vaihtelua. Stabiloinnin tarkoituksena on kiristää valmiin massan CSF-luvun vaihteluväliä. Kuvassa 81 on esitetty histogrammina valmiin hiokkeen CSF-luku maaliskuulta 2016.



Kuva 81. Valmiin hiokkeen CSF histogrammi maaliskuulta 2016

Kuvan 81 histogrammista nähdään, että vaikkakin keskiarvona on tuotettu CSF-luvultaan noin 335 ml massaa, vaihteluväli on laaja ja suurin osa mitatuista arvoista painottuu noin 345 ml CSF-luvun kohdille. Ideaalisesti arvot asettaisivat tasaisesti käyrälle ja vaihteluväli olisi huomattavasti kapeampi. Vastaavasti CSF-luvun vaihteluväli vaikuttaa myös valmiin hiokkeen vetoindeksin hajontaan. Valmiin hiokkeen vetoindeksin histogrammi on esitetty kuvassa 82. Kuvaajasta nähdään, että vetoindeksi on vaihdellut 13 Nm/g ja 19 Nm/g välillä ja suurin painottuma on noin 15 Nm/g kohdalla. Stabiloinnilla on tarkoitus myös pienentää vetoindeksin vaihteluväliä. Stabiloinnin onnistumista arvioidaan kappaleessa 15.3.3.

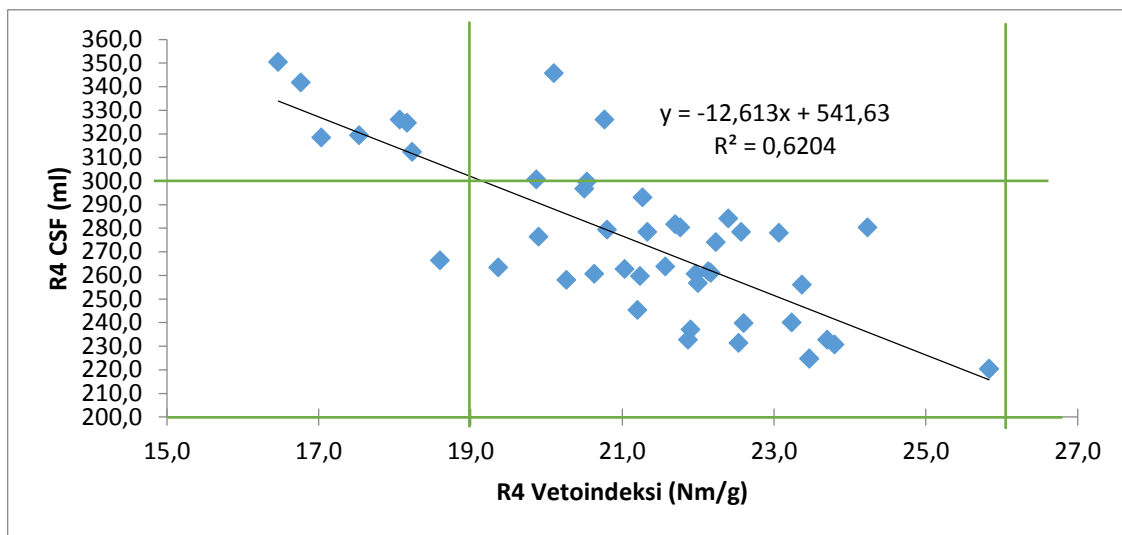


Kuva 82. Valmiin hiokkeen vetoindeksin histogrammi maaliskuulta 2016

15.4.2. Rejektinlinjan akseptin stabilointi

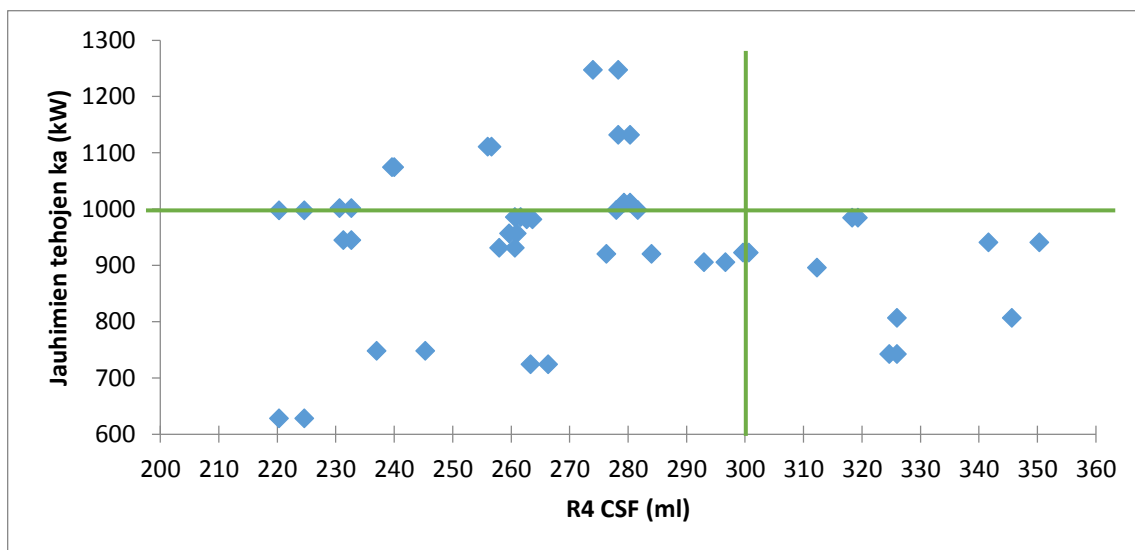
Rejektinlinjan akseptista ei ole ennen tätä työtä mitattu kuin CSF-lukua, sillä online-mittaukseen käytettävässä Pulp Expert -laitteessa ei ole lujuusmittauksiin tarvittavaa mittausmoduulia. Lujuusmittaukset suoritettiin käsinäytteistä, jotka otettiin rejektinlinjan painelajittimien akseptivirrasta, toisella Pulp Expert -laitteella. Laitteen määrittämiä CSF-lukua ja vetoindeksiä verrataan rejektijauhimien G306 ja G307 tehoihin ja teräviä-leihin. Tuloksista määritetään rejektinlinjan stabilointia varten tehorajat jauhimille ja minimiteräväli, jotta laadun vaihtelu saadaan hallintaan.

Pulp Expertillä suoritettujen mittausten tulokset on esitetty liitteessä B. Mittausdatasta nähdään, että rejektinlinjan akseptin CSF-luku ja vetoindeksi korreloivat toistensa kanssa. Tästä voidaan päätellä, että laadulle asetettavat raja-arvot voidaan määrittää jauhimien prosessiasetuksista. Kuvassa 83 on esitetty rejektinlinjan R4 massan CSF-luku vetoindeksin funktiona. Samaan kuvaajaan on piirretty viivoilla CSF-laatuavoiterajat 300 ml ja 200 ml, joiden sisäpuolella lujuusarvot ovat saaneet suurimman tiheyden. Minimivetoindeksi tällöin on 19 Nm/g.



Kuva 83. R4-linjan massan CSF-luku vetoindeksin funktiona.

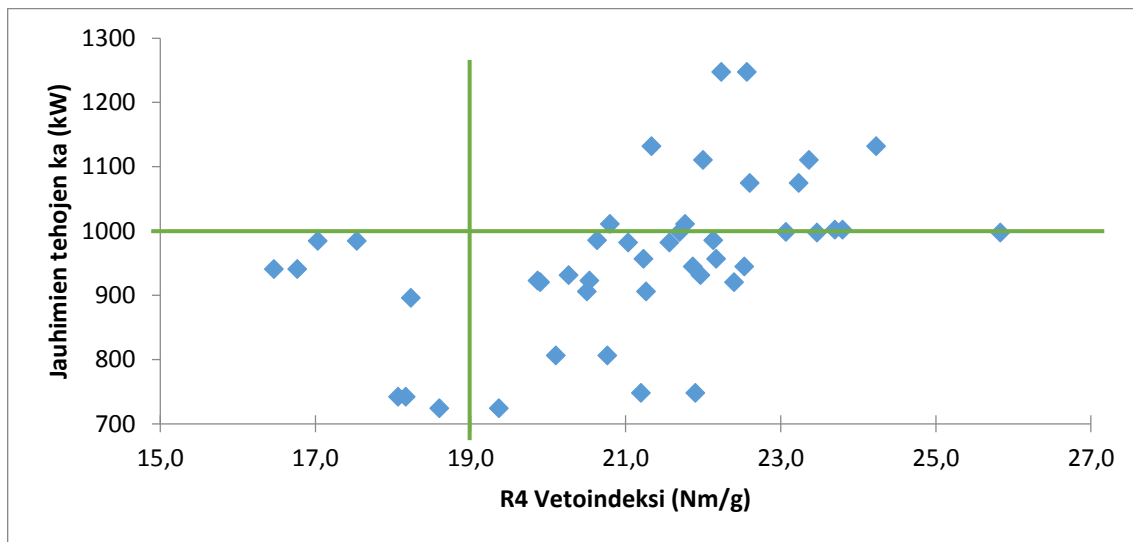
Jauhimien tehojen keskiarvo CSF-luvun funktiona on esitetty kuvassa 84.



Kuva 84. Jauhimien tehojen keskiarvo R4-linjan CSF:n funktiona.

Kuvasta 84 nähdään, että jos minimiteho jauhimille asetetaan 1000 kW:iin, niin R4-linjan akseptin CSF-luku asettuu varmasti alle 300 ml:aan. Vastaavasti 1000 kW jauhinteolla R4-linjan vetoindeksi ei laske alle asetetun 19 Nm/g. Tämä on nähtävissä kuvas-

ta 85, jossa on esitetty jauhien tehojen keskiarvo R4-linjan akseptin vetoindeksin funktiona



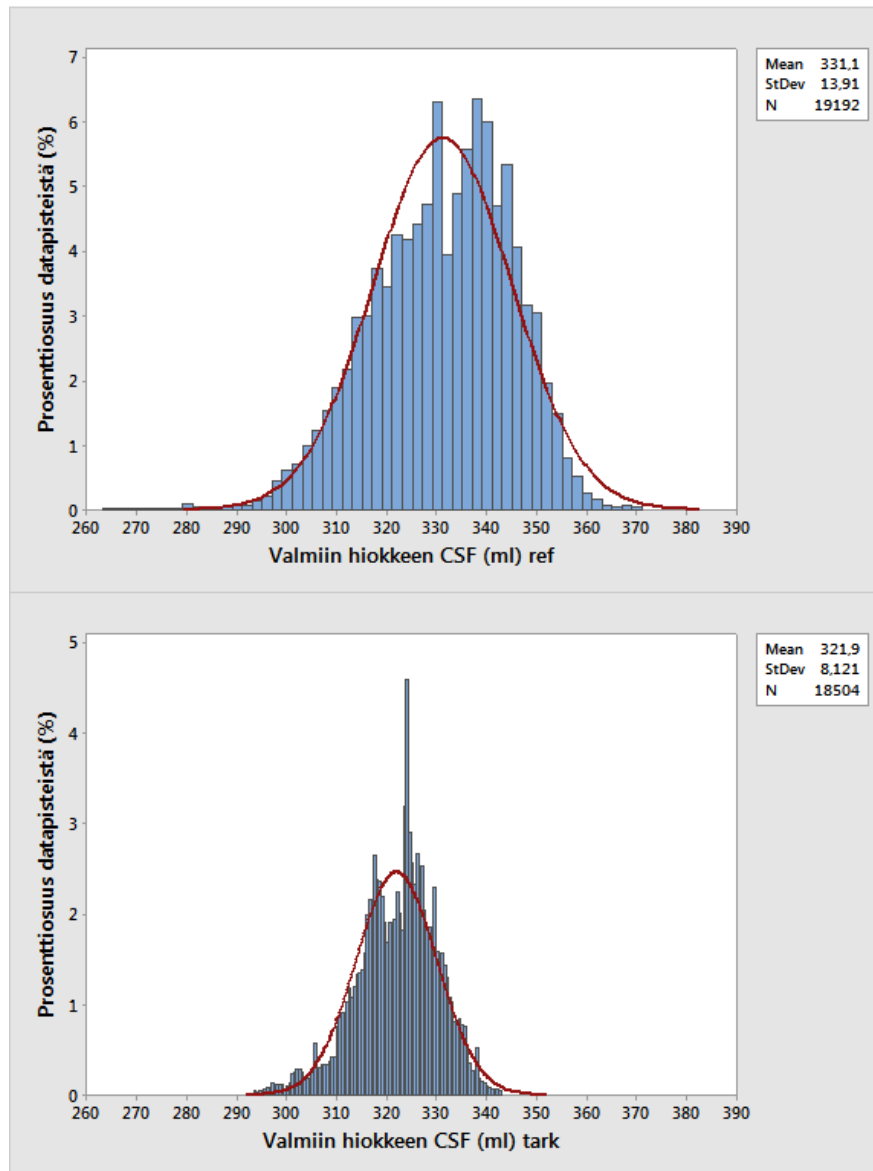
Kuva 85. Jauhien tehojen keskiarvo R4-linjan akseptin vetoindeksin funktiona.

R4 rejektilinjan mittausten perusteella asetettiin rejektinjauhien tehonoton alarajaksi 1000 kW.

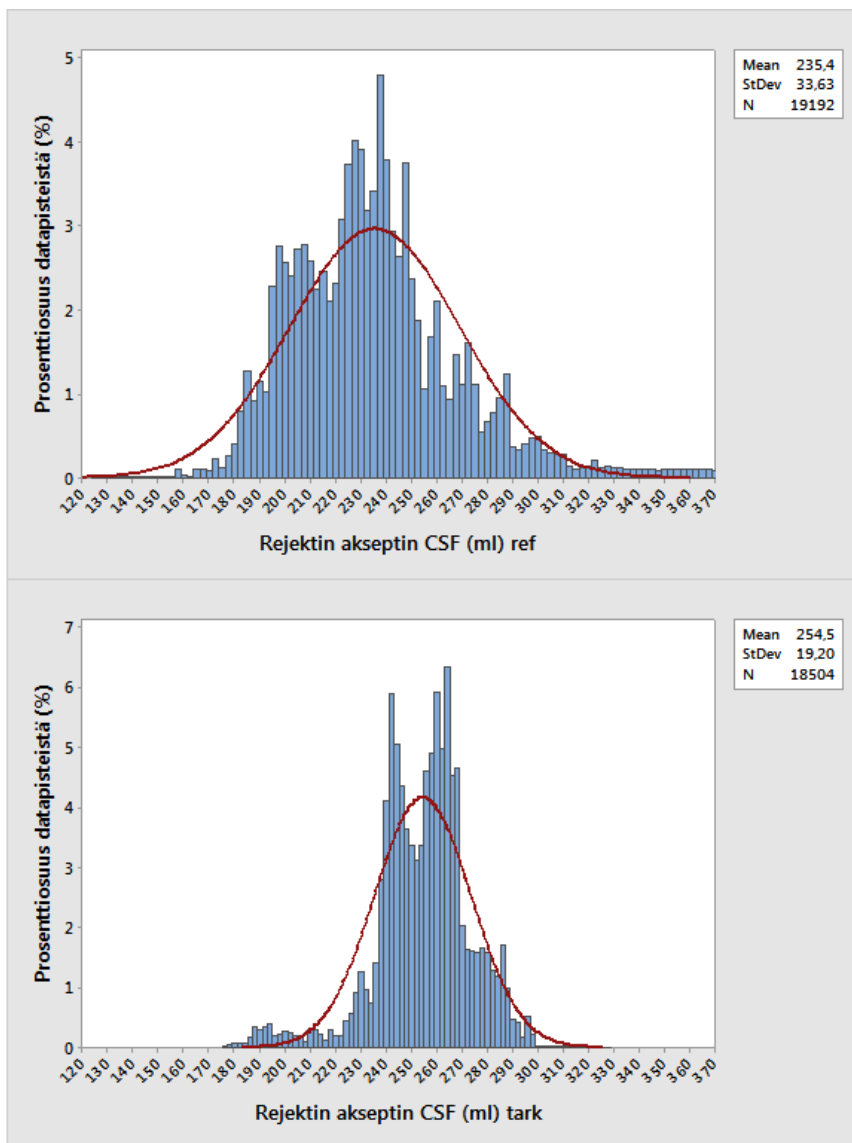
15.4.3. Stabiloinnin tulokset

Stabilointia kokeiltiin kahden viikon ajan viikoilla 14 ja 15. Referenssijakso stabiloinnille on maaliskuu 2016 koejakson alkuun 31.3. asti. Liitteen D osassa 1 on esitetty valmiin massan ja rejektilinjan akseptin CSF-luvut referenssijaksolta. Kuvaajasta huomataan, että valmiin massan CSF on vaihdellut aina 360 ml:sta 300 ml:aan. Rejektilinjalla vaihtelu on päälinjaa suurempaa. Tämä johtuu siitä, että rejektilinjalle ei ole asetettu min-käänlaista laatutavoitetta tai -rajoja. Liitteen D osassa 2 on esitetty huhtikuun alusta kahden viikon mittainen kuvaaja valmiin massan ja rejektilinjan akseptin CSF-arvoista.

Stabiloinnin onnistumista voidaan tarkastella paremmin vertailemalla referenssi- ja tarkastelujakson mittaustuloksien histogrammeja. Kuvassa 86 on esitetty histogrammit valmiin massan CSF-arvolle referenssi- ja tarkastelujaksolta. Kuvassa 87 on esitetty histogrammit rejektilinjan akseptimassan CSF-arvolle referenssi- ja tarkastelujaksolta.



Kuva 86. Valmiin hiokemassan CSF-histogrammit referenssi- ja tarkastelujaksolta



Kuva 87. Rejekttilinjan akseptimassan CSF-histogrammit referenssi- ja tarkastelujaksolta

Stabiloinnin tulokset on kerätty taulukkoon 19. Valmiin hiokemassan CSF:n vaihteluväli oli referenssijaksolla noin 83ml ja rejekttilinjan akseptimassan CSF:n vaihteluväli noin 202 ml. Valmiin massan CSF vaihteluväli saatiin stabiloinnilla kiristettyä 49 millilitraan ja vastaavasti rejekttilinjan akseptimassan vaihteluväli noin 115 millilitraan. Stabiloinnin ansiosta voidaan koeajot suorittaa niin, että niiden vaikutukset eivät katoa suuren vaihteluvälin aiheuttamaan datakohinaan.

Taulukko 19. H4 osahiomalinjan referenssidata ja stabiloinnin tulokset

Valmis massa				Minimi-Maksimi (ka +/- $\sigma \cdot 3$)	
Jakso	CSF, keskiarvo (ml)	Normaalipoikkeama, σ (ml)	Vaihteluväli, $\sigma \cdot 6$ (ml)	CSF, minimi (ml)	CSF, maksimi (ml)
Referenssi	331,1	13,91	83,46	289	373
Tarkastelu	321,9	8,121	48,726	298	346
Rejektin aksepti				Minimi-Maksimi (ka +/- $\sigma \cdot 3$)	
Jakso	CSF, keskiarvo (ml)	Normaalipoikkeama, σ (ml)	Vaihteluväli, $\sigma \cdot 6$ (ml)	CSF, minimi (ml)	CSF, maksimi (ml)
Referenssi	235,4	33,63	201,78	135	336
Tarkastelu	254,5	19,2	115,2	197	312

15.5. Hiomakiven vesikäsitteilyn vaikutus valmiin massan laatuun

Tämän diplomityön kirjallisuusosan kappaleessa 6.2.2.2. todettiin vesiteräyksen olevan oleellinen osa tasaista ja laadukasta hiontaprosessia. Vesiteräys toimii hoitavana elementtinä osana hiomakiven käsittelyä. Sen tehtävä on puhdistaa ja teroittaa kiveä rul-lateräyssyklin välissä. Kesän 2016 aikana tutkittiin vesiteräyksen vaikutusta valmiin massan CSF-lukuun. Valmiin hiokemassan CSF-luvun laskiessa noin 300 ml:n tasolle teräyksestä vastaava tuotantohuoltomies tarkisti Wedgestä hiomakivien EOK-luvut. Liitteessä E on esitetty hiomakoneiden EOK:t, valmiin hiokemassan CSF sekä käytetty teräyspaine kesä- ja heinäkuulta 2016. Kuvaajiin on merkitty teräysajankohdat ja käytetty vesisuihkun paine sekä huomiot eri teräyksistä.

Vesiteräyksillä saavutettiin kaikilla kolmella hiomakivellä hyviä tuloksia käytettäessä 1800 - 2000 barin painetta. Näistä 1800 bar paine toimii parhaiten, kun EOK:n nousu havaitaan ajoissa. Jos EOK on päässyt nousemaan huomattavan korkeaksi, noin (700 - 750 kWh/t) 2000 bar paine on toiminut erinomaisesti nostamaan valmiin hiokemassan CSF-luvun takaisin tavoitetasolle. Matalammalla vesiteräyspaineella on teoriassa vain puhdistava vaikutus. Kokeiden perusteella alhaisen paineen vesiteräys ei vaikuta hiomakoneen EOK:hon tai valmiin hiokemassan CSF:ään, minkä perusteella on syytä epäillä vaikuttaako alle 1800 bar paine millään tavalla kiven pintaan. Liian korkea vesiteräyspaine tai teräyksen toistaminen liian useasti nostavat hallitsemattomasti valmiin massan CSF-arvoa. Käytettävät paineet ja niillä saavutettavat vaikutukset CSF-arvoon

on kerätty taulukkoon 20, kun kaksi kivistä on toivotulla EOK-tasolla ja vain yksi hioma-kivi on teräyksen tarpeessa.

Taulukko 20. Vesiteräyspaine ja sen vaikutus valmiin hiokemassan CSF-arvoon.

<i>Vesiteräyksen vaikutus CSF-arvoon, kun vain yksi kivi on terätty</i>		
Vesiteräyspaine (bar)	CSF nousu (ml)	Vaikutus
< 1800	-	Puhdistava, ennaltaehkäisevä
1800	≈ 20	Nostaa CSF-arvoa hieman. Voidaan uusia tai käyttää 2000 bar teräyksen jälkeen.
2000	≈ 30	Nostaa hyvin CSF-arvoa. Ei saa toistaa peräkkäin.
> 2000	hallitsematon	Vaikutusta ei voida ennustaa, käyttö ei suositeltavaa.

15.6. R4 jauhatuksen tarkastelu ja kehittäminen

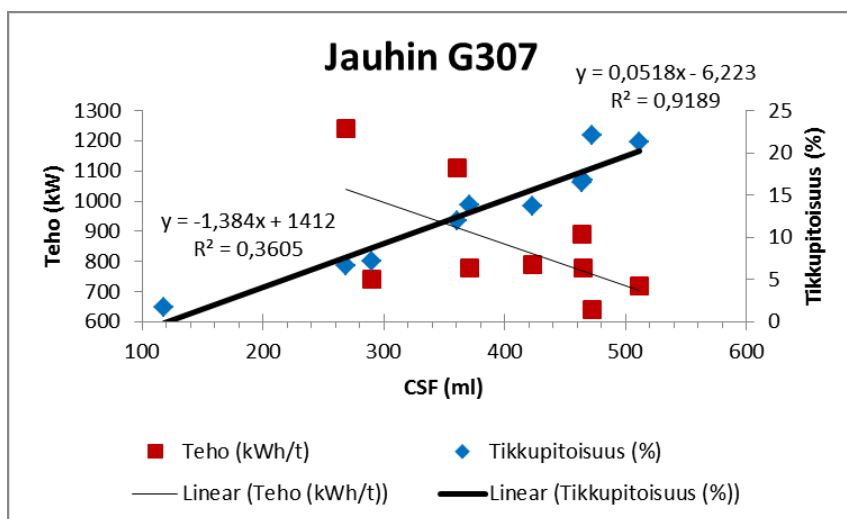
Toukokuun lopussa 2016 teetettiin R4 rejektilinjan jauhimien G306 ja G307 tuottaman massan laadusta laatumääritykset massalaboratoriossa. Taustalla laadun tarkastamiselle oli R4 ensimmäisen portaalan painelajittimen F264 tukkeutuminen ja moottorin yli-kuormittuminen aika ajoin. Mittausten tulokset on koottu taulukkoon 21.

Taulukko 21. R4 jauhimien G306 ja G307 laatumääritykset kesällä 2016.

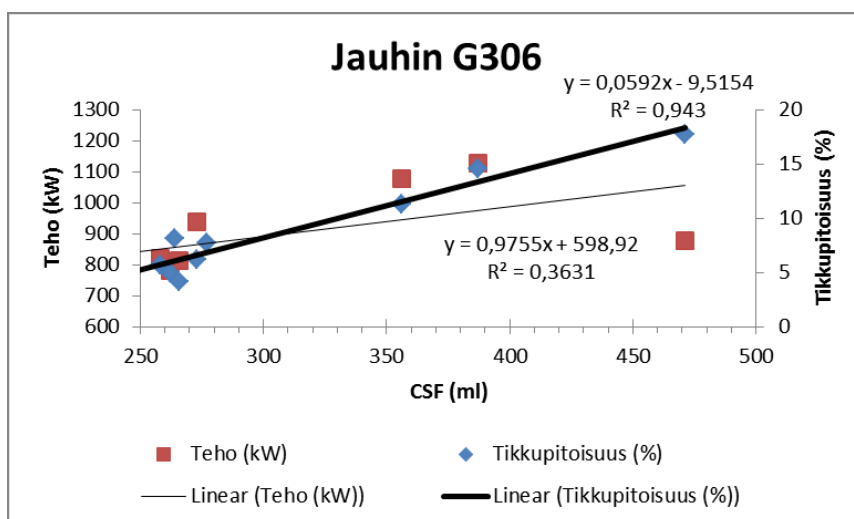
Päivämäärä	G306				G307			
	Sakeus (%)	CSF (ml)	Tikkupitoisuus (%)	Teho (kW)	Sakeus (%)	CSF (ml)	Tikkupitoisuus (%)	Teho (kW/t)
25.5.2016	13,85	262	5,02	780	23,54	464	16,5	890
25.5.2016	13,85	197	2,62	700	21,93	371	13,78	780
30.5.2016	15,14	266	4,14	815	23,05	423	13,74	790
2.6.2016	16,65	258	5,72	820	26,78	472	22,08	640
6.6.2016	18,78	241	4,34	890	23,48	511	21,34	720
8.6.2016	24,58	471	17,8	880	25,74	465	16,72	780
9.6.2016	23,96	356	11,34	1080	26,74	361	11,92	1110
20.6.2016	23,04	387	14,62	1130	22,8	269	6,64	1240
14.7.2016	19,63	273	6,22	940	21,54	290	7,16	740
12.9.2016	23,74	277	7,78	-				
16.9.2016	22,8	264	8,18	-	19,81	118	1,72	-

Taulukosta 21 voidaan tehdä seuraavia havaintoja. Jauhimen G306 tehonoton kasvaessa tikkujen osuus jauhetussa massassa kasvaa, ja sen sakeus nousee. Tästä poikkeavasti G307 jauhin tuottaa korkealla teholla vähemmän tikkuja, mutta teho ei korreloi lain-

kaan jauhetun massan sakeuden kanssa. Jauhimen G307 teho on jokseenkin verrannollinen jauhetun massan CSF-arvoon. Tästä voidaan päätellä, että jauhimen G306 terissä on ollut jonkinlaista ongelmaa, esimerkiksi kulumaa tai muita pintavaurioita. Kuvassa 88 on esitetty jauhimen G307 teho sekä jauhimesta poistuvan massan tikkupitoisuus CSF:n funktiona ja kuvassa 89 vastaavat arvot jauhimelle G306.

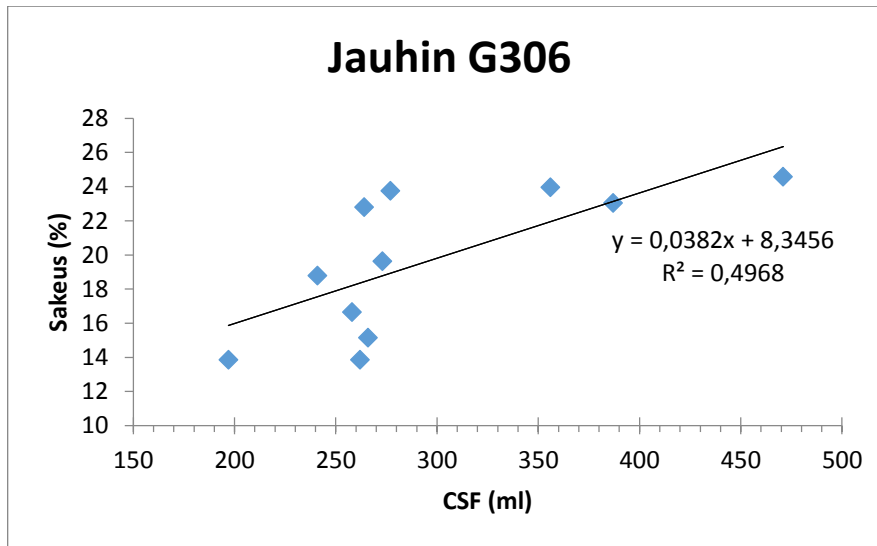


Kuva 88. Jauhimen G307 teho ja tikkupitoisuus CSF:n funktiona

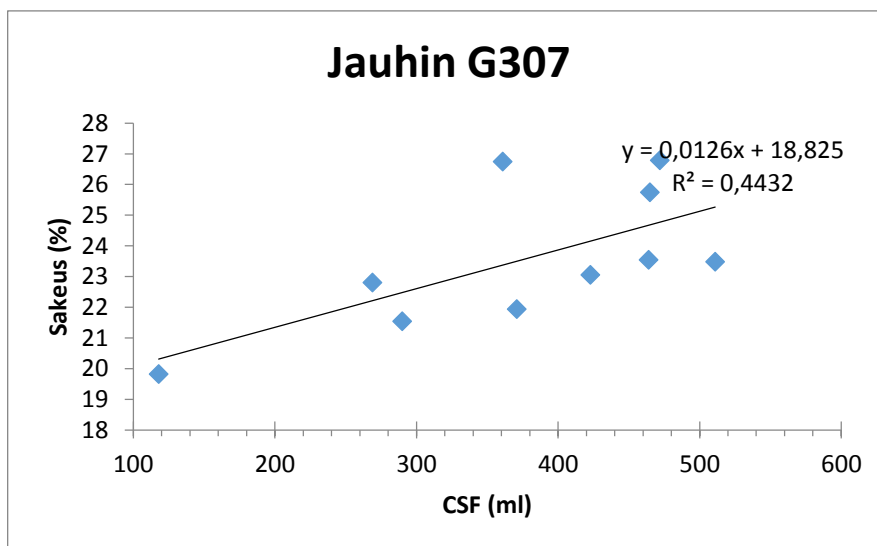


Kuva 89. Jauhimen G306 teho ja tikkupitoisuus CSF:n funktiona.

Taulukon 21 datasta huomataan, että jauhimien tehot korreloivat vahvasti jauhetun massan CSF-arvon kanssa. Tämä on tarkemmin nähtävissä kuvista 90 ja 91, joissa on esitetty jauhimien tuottamien massojen sakeuden niiden CSF-arvojen fuktioina.

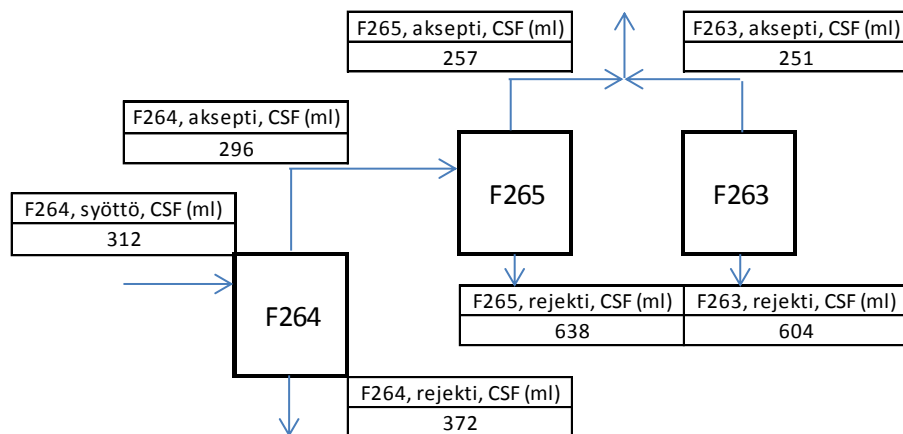


Kuva 90. Jauhin G306, jauhetun massan sakeus CSF-arvon fuktiona



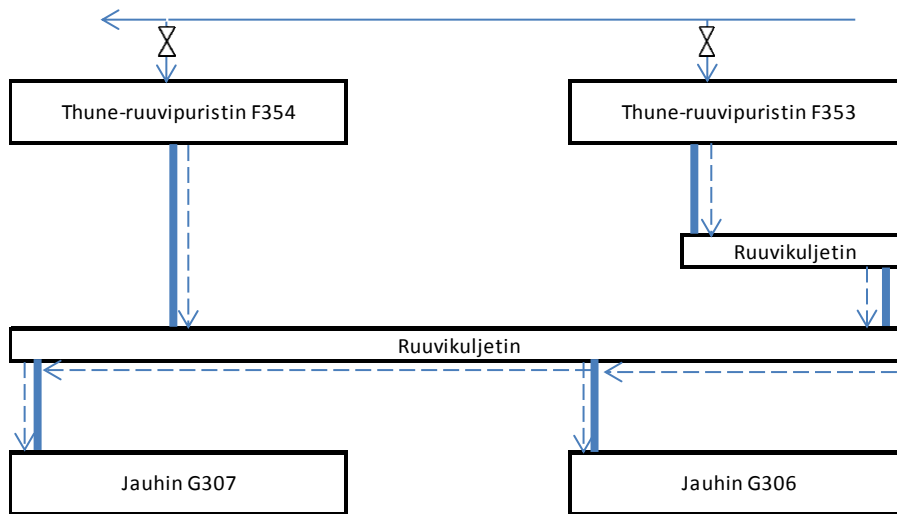
Kuva 91. Jauhin G307, jauhetun massan sakeus CSF-arvon funktiona

Toukokuussa 2016 teetettiin laboratoriomääritykset myös lajittimien syöttö-, aksepti- ja rejektimassoille. Rejektinlinjan lajittimien tulokset on esitelty kuvassa 92.



Kuva 92. Rejektinlinjan lajittelun CSF-arvot toukokuussa 2016

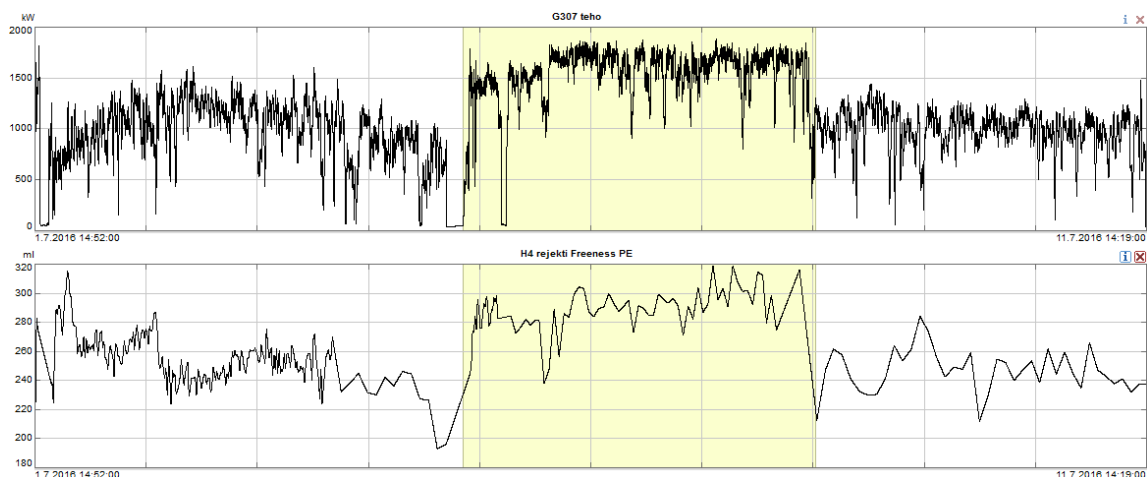
Lajittelussa päästään rejektinlinjalla tavoiteltuun 250 ml CSF-arvoon, jos jauhetun massan CSF on noin 300 ml. Kappaleessa 15.3.2. tehtiin havainto, jossa jauhimien tehon kasvaessa rejektinlinjan akseptin CSF-arvo laskee. Tämän perusteella tehtiin johtopäätös, että jauhimien teho olisi oltava vähintään 1000 kW, jotta massa jauhaantuu oikein. Tässä kappaleessa tehdyt havainnot eivät tue edellä mainittua olettamusta, vaan tavoiteltava jauhinteho asettuu välille 800-1000 kW. Tutkimustietoa on kuitenkin liian vähän varsinaisten johtopäätösten tekemistä varten. Lisäksi massan jakautuminen jauhimille on nykyisellä prosessiratkaisulla erittäin vaihtelevaa, jolloin jauhimille syötettävät massavirtaukset voivat vaihdella suurestikin. Kuvassa 93 on esitetty massankuljetusratkaisu nykyisestä prosessista. Thune-ruuvipuristimille tulevaa massamäärää voidaan ohjata venttiilien avulla. Massan kulkua puristimien jälkeen on kuvattu katkoviivoilla. Ruuvikuljettimien toimintaan ei käytännössä voida vaikuttaa. Tilanteessa, jossa vain Thune-ruuvipuristin F353 on käytössä, vain osa massasta saadaan siirrettyä jauhimen G306 pudotusaukon yli jauhimelle G307.



Kuva 93. Massan kuljetus R4 ruuvipuristimilta jauhimille

Kuljetinratkaisut ja Thune-ruuvien vaihteleva käyttö johtavat siihen, että massan jakautuminen tasan kahdelle jauhimelle tai sen todentaminen on käytännössä mahdotonta tämän tutkimuksen rajoissa. Jauhimien toimintaa on syytä jatkossa tutkia tarkemmin, jotta jauhimien syöttömassat saadaan tasattua ja näin jauhimien käyttöön tehty toimintaohje.

Koeajojen aikana kokeiltiin myös tehon nostamista huomattavan korkeaksi, noin 1500 kW -tasolle jauhimella G307. Jauhin G306 oli testin aikana pois käytöstä. Tästä koeajosta ei tehty laboratoriomäärittäyksiä, mutta prosessidatan perusteella erittäin korkea jauhusteho heikentää jauhatus tulosta. Tämä on nähtävissä kuvasta 94.



Kuva 94. Jauhimen tehon noston rejektilinjan akseptin CSF-arvoon.

Aiemmin jauhimien terien käyttötunteja ei ole seurattu aktiivisesti. Koeajot todistivat, että kaikkien hiomon jauhimien aktiivisempi seuranta on tarpeellinen. Jatkuva CSF-arvojen määrittäminen jauhetusta massasta on tällä hetkellä liian kuormittavaa laboratoriolle, joten käyttötuntirajan noudattamisella voidaan välttää terien kunnon heikentymisen aiheuttamat häiriöt massan laatuun. Tällä voidaan osaltaan myös ennaltaehkäistä esimerkiksi rejektilinjan painelajittimien syöttömassan korkean tikkupitoisuuden aiheuttamaa tukkeutumista. Jauhimien terien käyttöaikojen seurantaa varten prosessinohjausjärjestelmä DNA:han tehtiin kuvassa 95 esitetty seurantasivu. Kuvassa on jokaiselle terälle kohta "TV", joka tarkoittaa terän vaihtoa. Ohjeiden mukaan terät vaihdetaan 2000 tunnin käytön jälkeen ja "TV"-merkki muuttuu keltaiselle huomauttamaan terän vaihdosta 1800 tunnin käytön jälkeen. Käyttötunteja ohjelma laskee R4 linjan jauhimille vain, kun tehon otto on yli 400 kW.

Nimi	Terien käyttöt. h (>300kW)	Edell. käyttöt. h	Käytetty energia MWh	Edell. energia MWh	Laskurin nollaus	Käämi L1 lämpöt. C	Käämi L2 lämpöt. C	Käämi L3 lämpöt. C	Jäähd. vesi	Vuoto- vesi
R1 G304	409	2286	463	1849	TV	55	54	53	OK	180
R1 G305	2035	1996	1793	1412	TV	57	55	54	OK	OK
R2 G301	1475	1807	1491	1876	TV	43	44	43	OK	OK
R2 G302	1649	1913	1737	2014	TV	48	48	51	OK	OK
R3 G318	664	1719	2596	6585	TV	Ulkoterien vaihtoväli 2000 h Sisäterien vaihtoväli 4000 - 6000 h				
R4 G306	1599	2096	1509	2001	TV	62	60	60	OK	OK
R4 G307	1858	264	1808	227	TV	56	57	57	OK	112

Nimi	Roottorin terä	Staattorin terä	Terävalmistaja
R1 G304	R11979ASH-SEL	S11979SH602	VALMET
R1 G305	R11979ASH-SEL	S11979SH602	VALMET
R2 G301	R11979ASH-SEL	S11979SH602	VALMET
R2 G302	R11979ASH-SEL	S11979SH602	VALMET
R3 G318 ulko	R11979ASH-SEL	S11979SH602	VALMET
R3 G318 sisä	RC268415SD	SC268416ASD600	VALMET
R4 G306	44DB805	44DB805	ANDRIZ
R4 G307	44DB805	44DB805	ANDRIZ

62.10.8.1

Rejektijauhimien valvontatiedot

2016-09-06 11:48:02

Kuva 95. Rejektinjauhimien valvontatietosivu prosessiohjausjärjestelmä DNA:sta

15.7. Rejektisuhteen vaikutus valmiin hiokkeen laatuominaisuuksiin

Prosessin normaalin ajotilanteen mukaiset virtausrejektisuhteet on esitetty taulukossa 22. Rejektisuhteet poikkeavat alkuperäisen suunnitelman mukaisista rejektisuhteista, jotka esiteltiin kappaleessa 9.2. Lukuarvojen muutokseen ovat vaikuttaneet prosessilaitteiden muutokset, vaihtelut raaka-aineen laadussa ja kokemus prosessin ohjaamisesta.

Taulukko 22. Osahiomalinjan 4 painelajittimien virtausrejektisuhteet

Osahiomalinjan 4 virtausrejektisuhteet		Rejektivirtaus
F230 1A	8 %	12,50 l/s
F231 1A	8 %	13,70 l/s
F232 1B	13 %	21,90 l/s
F234 1B	13 %	21,50 l/s
F233 2A	24 %	23,00 l/s

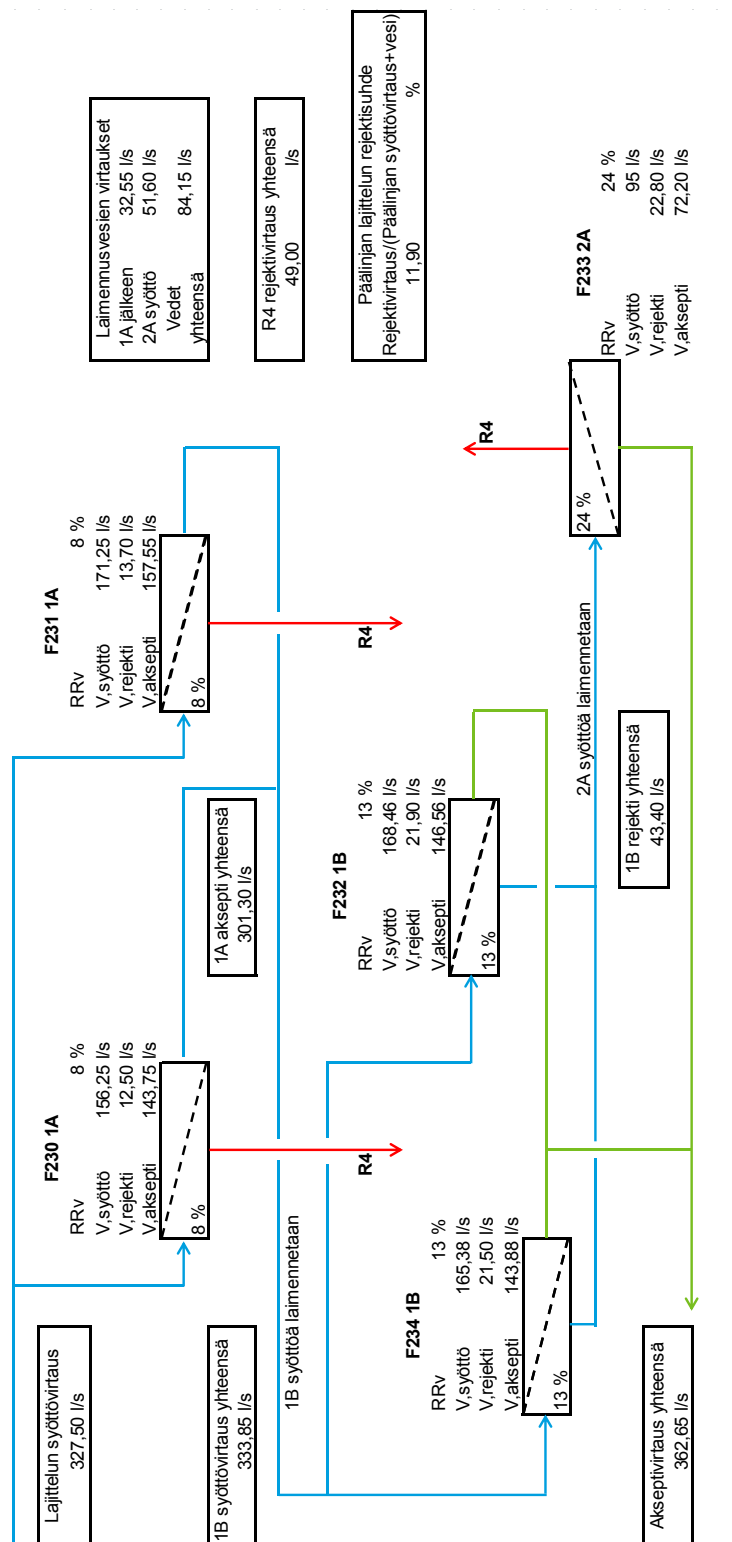
Päälinjan kokonaisvirtausrejektisuhde lasketaan prosessinohjausjärjestelmä MetsoDNA:n mitaamien rejektivirtausten perusteella. Kun sekä rejektisuhde, että -virtaus tunnetaan, voidaan laskea painelajittimen syöttövirtaus. Syöttövirtaus lasketaan kaavan 31 mukaan

$$syöttövirtaus (l/s) = \left(rejektivirtaus (l/s) / rejektisuhde (\%) \right) \cdot 100\% \quad (31)$$

Kaavan 28 mukaan painelajittimen F230 1A syöttövirtaukseksi saadaan 156,25 l/s.

$$syöttövirtaus_{F230} = \left(12,5 \text{ l/s} / 8 \% \right) \cdot 100 \% = 156,25 \text{ l/s}$$

Massavirtausten lisäksi lajitteluun syötetään laimennusvettä sekä 1B lajittimien että 2A lajittimen syöttövirtauksiin. Kuvassa 96 on esitetty päälinjan lajittimien virtauslaskelmakaavio ja laimennusvesien määrät.



Kuva 96. Päälínjan painelajittimien virtausrejektisuhteiden laskentataulukko, jossa on esitetty myös laimennusvesivirtauksien määrät.

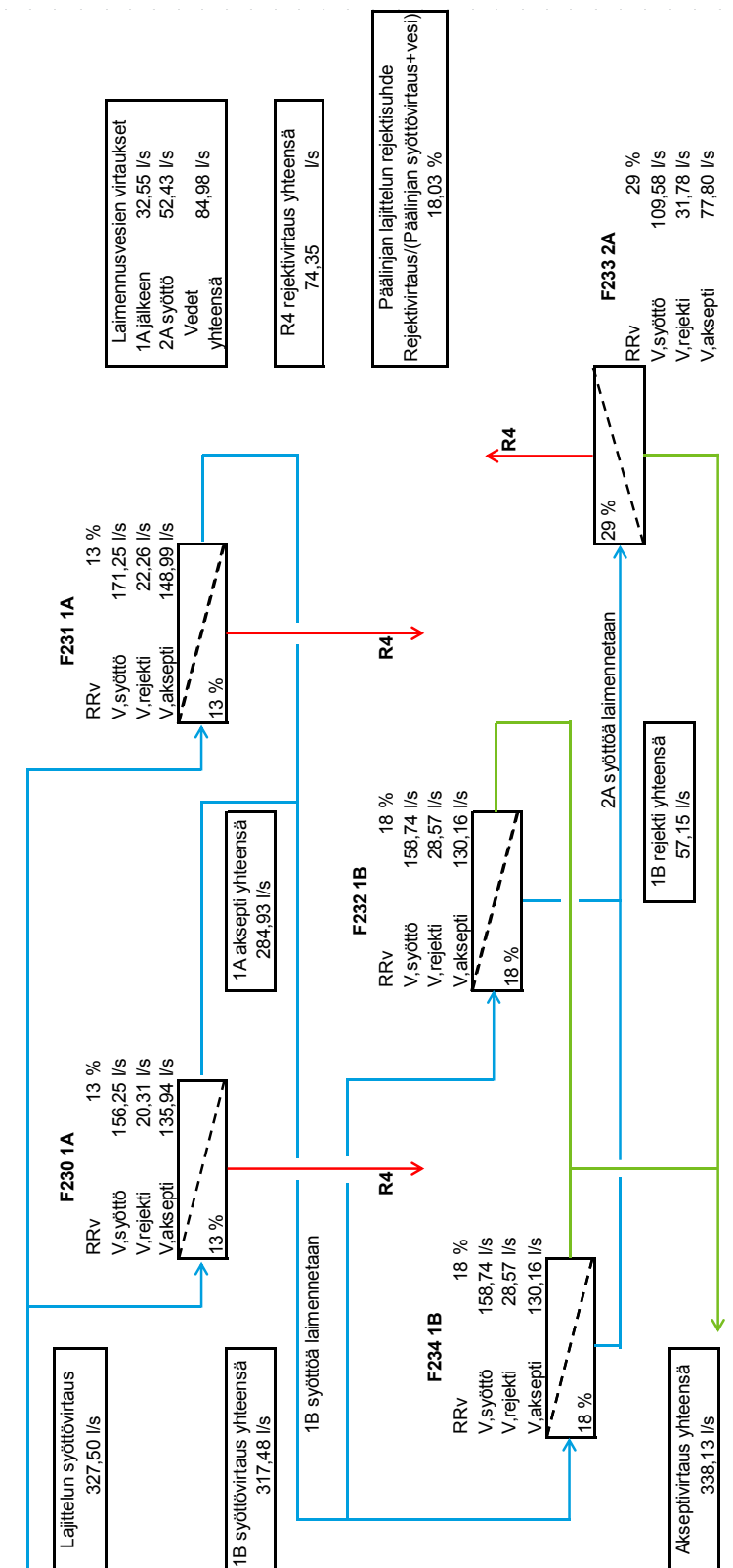
Kuvassa 96 on esitetty myös päälinjan kokonaisvirtausrejektisuhde. Sen laskemisessa käytettiin syöttövirtauksina massavirtaa 1A-lajittimille sekä laimennusvesien virtauksia ja rejektivirtauksina 1-lajittimilta sekä 2A-lajittimelta poistuvaa virtausta. Kokonaisrejektisuhde on normaaleissa prosessiolosuhteissa 11,9 %.

Koeajossa kokeiltiin kaikkien painelajittimien virtausrejektisuhdeiden kasvattamista viidellä prosenttiyksiköllä. Kokonaisrejektisuhteen laskennassa oletettiin laimennusvesien pysyvän suurin piirtein samana, kuin normaalitilanteessa. Laskenta tehtiin samaan pohjaan kuin kuvassa 87. Laimennusvesien vakiovirtauksen lisäksi oletettiin, että painelajittimien syöttövirtaus pysyy vakiona. Taulukossa 23 on esitetty painelajittimien virtausrejektisuhdeet sekä virtausmäärät koeajoa varten.

Taulukko 23. Osahiomalinjan 4 nostetut virtausrejektisuhdeet sekä rejektivirtaukset

Osahiomalinjan 4 virtausrejektisuhdeet		Rejektivirtaus
F230 1A	13 %	20,31 l/s
F231 1A	13 %	22,26 l/s
F232 1B	18 %	28,57 l/s
F234 1B	18 %	28,57 l/s
F233 2A	29 %	31,78 l/s

Kuvassa 97 on esitetty päälinjan painelajittelun virtaukset nostetuilla virtausrejektisuhdeilla. Virtausmäärät kasvavat hieman, ja niiden mukana kokonaisrejektisuhdeeksi saadaan noin 18 %.



Kuva 97. Päälinjan painelajittelun virtaukset kasvatetulla virtausrejektisuhteilla

Koeajo aloitettiin aamupäivästä nostamalla vaiheittain painelajittimien virtausrejektisuhteita tavoitetasolle. Jo ennen tätä tasoa havaittiin, että lajittimiin yhteydessä oleva suodosvesisäiliö (G557) alkoi täyttyä nopeasti. Säiliön ylivuoto johdetaan rejektisäiliöön, jolloin puolestaan rejektin käsittelyprosessi ei pysy tasapainossa sekoittuneiden virtausten takia. Toinen ongelma ilmeni myöhemmin toisella Thune-ruuvipuristimella (G353), joka käytännössä lopetti toimintansa rejektimäärän kasvaessa. Ruuvipuristin ei enää pystynyt puristamaan vettä pois massasta, vaan massa jatkoi vetisenä puristimen läpi suoraan kiekkojauhimelle. Vetinen massa aiheutti ongelmia myös kiekkojauhimella, josta liian vetinen massa pääsi läpi jauhaantumatta ollenkaan.

Prosessilaitteiden rikkoontumisen estämisen ja prosessin toiminnan kannalta päätettiin, että koeajo keskeytetään ja painelajittimien virtausrejektisuhteet palautettiin alkuperäiselle tasolleen. Koeajon perusteella voidaan todeta, että päälinjan painelajittelu toimii tällä hetkellä lähes maksimikapasiteetillaan, jossa on vain pientä säätövaraa vaihteluherkän prosessin ylläpitämistä varten. Painelajittelun rejektisuhteiden suurempaa kasvattamista ei voida suositella kartonkihiokkeen valmistuksessa.

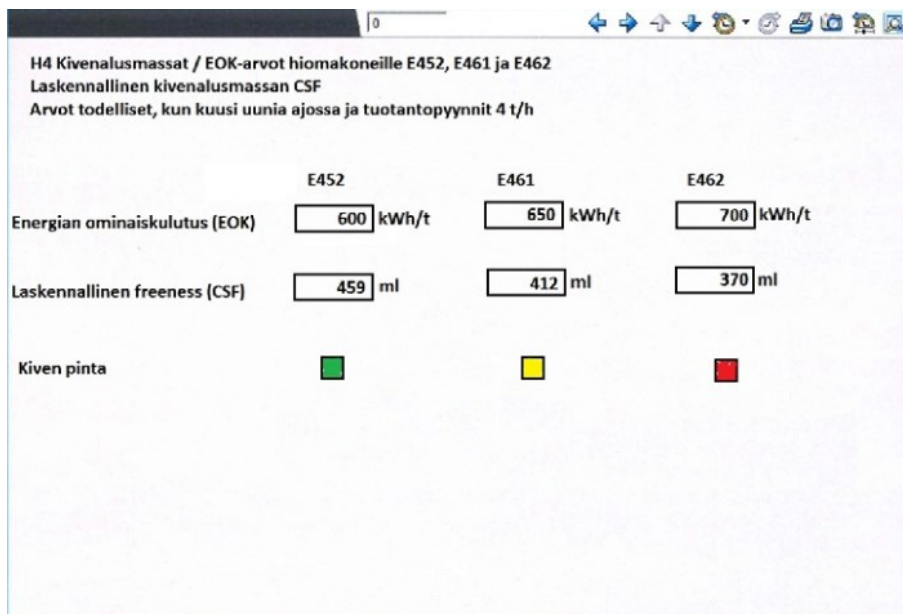
15.8. Prosessin laadullisen hallinnan kehittäminen

Tämän diplomityön kokeellisessa osassa havaittiin, kuinka hiontaprosessi on luonteeltaan erittäin vaihteleva, jolloin laadussa ei voida saavuttaa jatkuvasti täsmällistä tavoitetta. Laadun vaihteluun vaikuttavat esimerkiksi puun syötön onnistuminen, painelajittimien syöttösakeudet ja prosessilaitteiden käyttöhäiriöt. Painelajittimien syöttösakeutta ohjataan manuaalisesti prosessilaitteiden toiminnan mukaan, mikä puolestaan lisää laadullista epävarmuutta. Prosessioperaattoreita haastatteleamalla selvisi, ettei automaattiasetus toimi kunnolla, ja tästä seuraa usein laitehäiriöitä painelajittelussa.

Laadun hallinnan kannalta tärkeimmäksi tekijäksi osoittautui oikealla tavalla reagoiminen tuotantomäärien vaihteluihin tapauksissa, joissa tuotantomäärää on tarve vähen-

tää, sekä kivenalusmassojen CSF-tasojen vaikutus valmiin massan CSF-lukuun.

Kivenalusmassojen laadun hallinta tapahtuu kiven käsittelyllä. Aiemmin tehtaalla on tukeuduttu tuotantotuntimäärän mukaiseen kiven sorvaukseen ja rullateräykseen, jota ei tueta vesiteräyksellä. Kivenalusmassa noudattaa laboratoriokokeiden perusteella hyvin vahvasti hiomakoneen EOK-arvoa, jolloin ennustavan mallin muodostaminen EOK:n ja kivenalusmassan CSF:n välille on mahdollista. Kivenalusmassan laskennallisen CSF-arvon ja hiomakoneen EOK:n seuraamista varten valmisteltiin prosessinohjausjärjestelmä DNA:han valvontanäyttö, joka on esitetty kuvassa 98. Valvontanäyttö antaa suuntaa antavaa informaatiota kiven käsittelyä varten. Lukuarvojen lisäksi siinä on indikaattori vesiteräyksen käytölle jokaiselle kartonkhiomakoneelle. Tämä liikennevalon tavoin toimiva indikaattori näyttää värikoodeilla miten kivi toimii. Värit ja niitä vastaavat EOK:t on esitetty taulukossa 24.



	E452	E461	E462
Energian ominaiskulutus (EOK)	600 kWh/t	650 kWh/t	700 kWh/t
Laskennallinen freeness (CSF)	459 ml	412 ml	370 ml
Kiven pinta	Green	Yellow	Red

Kuva 98. Havainne-esitys kartonkhiomakoneiden valvontanäytöstä

Taulukko 24. Hiomakivien valvontasivun värikoodien selosteet

Väri	EOK (kWh/t)	Tarkoitus
Oranssi	0 → 549,99	Kivi liian terävä
Vihreä	550-649,99	Kivi optimitasolla
Keltainen	650 - 679,99	Kivien pinta tarvitsee vesiteräyksen
Punainen	680 →	Kiven pinta vesiterättävä

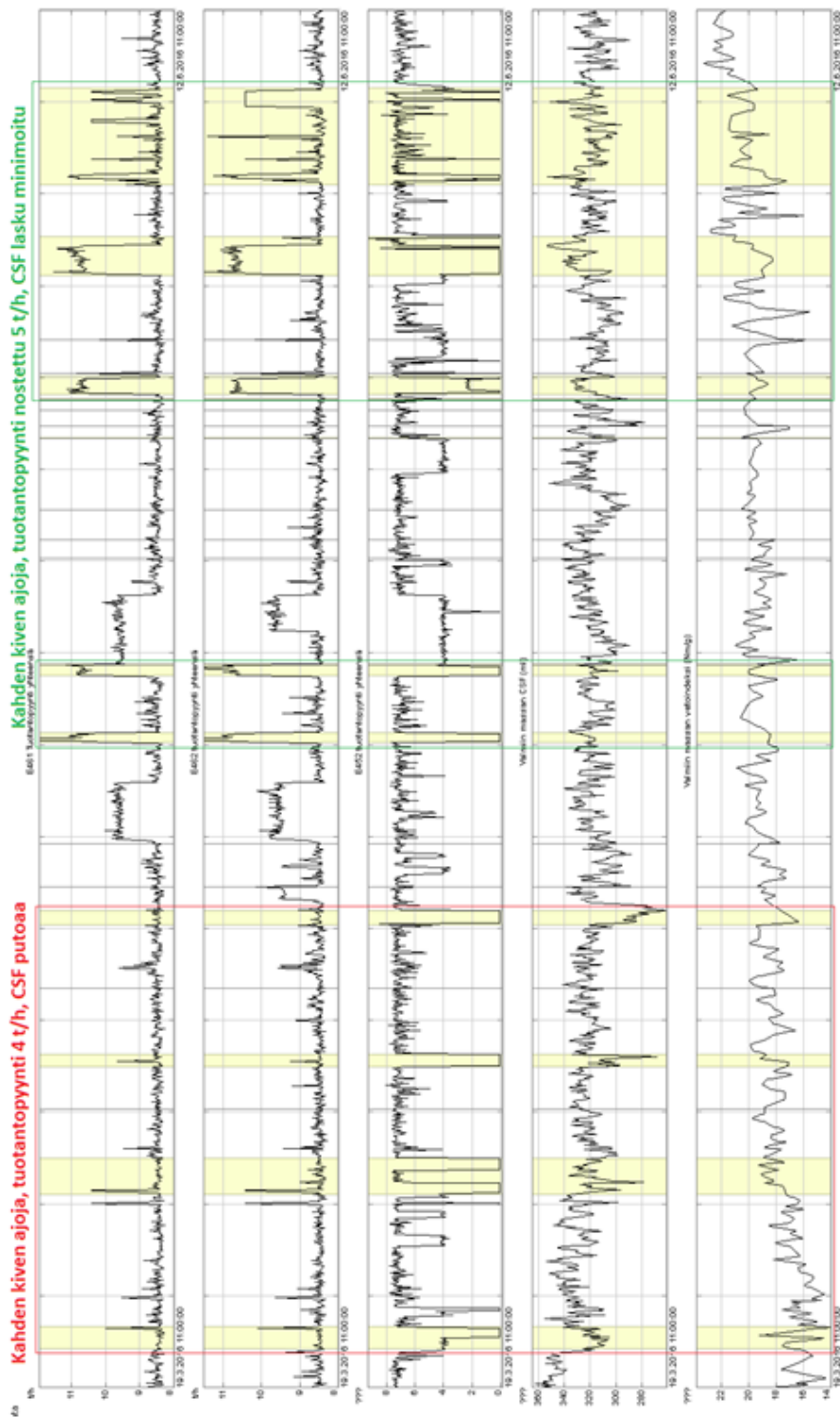
Kun tältä pohjalta saadaan hiomakoneet tuottamaan oikeanlaatuista massaa hallitulla vaihteluvälillä, voidaan pienemmät laadulliset muutokset tehdä rejektijauhatuksen avulla. Tämä puolestaan tapahtuu syöttösakeutta nostamalla tai laskemalla, jolloin jauhatukseen käytettävä teho nousee tai laskee. Mitä enemmän tehoa jauhimet ottavat, sitä hienommaksi massa jauhautuu.

Kivien teräämisen aikataulun noudattamista helpottamaan valmisteltiin vuosille 2016 ja 2017 kalenteri, johon on merkitty kolmen kuukauden välein viikot, joina kukin kivistä on sorvattava ja rullaterättävä. Kivikäsittelykalenteri on esitetty liitteessä F. Aikataulun noudattaminen on äärimmäisen tärkeää hiomakiven ominaisuuksien ylläpitämiseksi ja vesiteräyksien toiminnan kannalta.

16. Kahden kiven ajotilanne ja laadun hallinta

Kartonkihiokkeen valmistuksessa tavoitteena on ajaa prosessia kuudella uunilla, eli täydellä teholla aina kun mahdollista. Toisinaan ilmenee tarve vähentää tuotantoa esimerkiksi huoltotoimenpiteiden, prosessissa tapahtuneiden häiriöiden tai kartonkikoneen katkojen takia. Näissä tapauksissa prosessi siirretään kahden kiven tuotannolle. Yksi kivi otetaan täysin pois tuotannolta. Muuta prosessia ei kuitenkaan säädetä vähentyneen kivenalusmassan määrän mukana, vaan väliaikaisen tilanteen vuoksi prosessiasetukset pidetään täyden tuotannon tasolla. Tästä seuraa valmiin hiokkeen laatuominaisuuksien

heikentymistä. Kuvassa 99 on esitetty kaikkien kolmen hiomakiven, valmiin massan CSF:n ja vetoindeksin kuvaajat aikaväliltä 19.3.-31.5.2016. Kuvaajiin on merkitty punaisella värillä kohdat, joissa yksi hiomakone on otettu pois ajosta ja valmiin massan CSF on laskenut tämän seurauksena. Datasta on poistettu ajankohdat, joissa osahiomalinja on ollut kokonaan pois käytöstä.



Kuva 99. Tuotantonopeuksien vaikutus valmiin massan laatuun. Kuvaan on korostettu kohdat, joissa tuotantonopeutta on joko nostettu tai jätetty normaalitasolle.

Tuotantonopeuden nostamisella voidaan todistetusti vähentää valmiin massan laadun laskua tai jopa eliminoida se kokonaan. Kokeilujen perusteella tehtiin ohjeistus, jonka mukaan jatkossa kahden kiven ajotilanteessa tuotantonopeuksia hiomakoneiden uuneille nostetaan neljästä viiteen tonniin uunia kohti tunnissa. Kolmen kiven ajoon palatessa tuotantonopeudet tulee laskea takaisin normaalitasolle, jotta massan virtausmäärät prosessissa eivät nouse maksimikapasiteetin yli. Muutamassa tapauksessa tuotantonopeudet unohtuivat prosessihenkilökunnalta korkeammalle tasolle, josta seurasi esimerkiksi pyörrepuhdistinsarjojen tukkeutumista ja kiekkosuotimen kuorman nousua yli maksimirajan.

17. Hiomakoneen EOK-hallinnan tuottama sähkön säästö

Eurostatin tuottaman tutkimuksen mukaan teollisuussähkön hinta Suomessa on vuonna 2016 on ollut keskimäärin 0,0614 €/kWh. [66] Hinta vaihtelee luonnollisesti alueittain ja yrityskohtaisten sopimuksien mukaan, minkä takia seuraavat laskutoimenpiteet ovat vain suuntaa-antavia. Laskutoimenpiteiden yksinkertaistamiseksi oletetaan, että kaikki hiomakoneet ovat jatkuvasti käytössä tuotantonopeudella 4 t/h ilman seisokkeja koko vuoden ajan. Kaavassa 32 on esitetty laskukaava yhden hiomakoneen uunin sähkön hinnaksi yhdessä vuorokaudessa.

$$\text{Sähkön hinta vuorokaudessa, } E461A \text{ (€)} = \text{Tuotettu massa vuorokaudessa (t)} * EOK \left(\frac{kWh}{t} \right) * \text{Sähkön hinta} \left(\frac{€}{kWh} \right) \quad (32)$$

Yksi uuni tuottaa noin 4 tonnia massaa tunnissa. Vuorokaudessa massaa tuotetaan siis 96 tonnia. Oletetaan normaalitilanteeksi, että jokaisen hiomakoneen EOK on uuden ajotavan mukaisesti keskiarvoltaan 580 kWh/t. Seuraavaksi on laskettu yhden uunin kuluttaman sähkön hinta yhdessä vuorokaudessa.

$$\begin{aligned} \text{Sähkön hinta vuorokaudessa, E461A (€)} &= 96 \text{ t} * 580 \text{ kWh/t} * 0,0614 \text{ €/kWh} \\ &= 3418,75 \text{ €} \end{aligned}$$

H4 osahiontalinjalla hiomakoneita on kolme ja niissä yhteensä kuusi uunia. Seuraavaksi on laskettu kulutetun sähkön hinta kolmelle hiomakoneelle.

$$\text{Sähkön hinta vuorokaudessa, H4 (€)} = 3418,75 \text{ €} * 6 = 20512,50 \text{ €}$$

Alla on laskettu sähkön hinta koko vuodelle.

$$\text{Sähkön hinta vuodessa, H4 (€)} = 20512,50 \text{ €} * 365 = 7,49 \text{ M€}$$

Taulukkoon 25 on laskettu sähkönkulutus tilanteessa, jossa hiomakoneiden EOK-keskiarvo on edellisen vuoden toteutuman mukainen sekä saavutettu säästö.

Taulukko 25. Sähkökustannukset vuodessa kahdella eri EOK-keskiarvolla

Tilanne	Tuotetut tonnit vuorokaudessa (t)	EOK,ka (kWh/t)	Sähkön hinta (€/kWh)	Sähkökustannukset,vrk,uuni (€)
Toteutunut	96	600	0,0614	3536,64
Uusi	96	580	0,0614	3418,75
		Sähkökustannukset,vrk,H4 (€)		Sähkökustannukset,vuosi (€)
		21219,84		7745241,60
		20512,51		7487066,88
Saavutettava säästö vuodessa		258174,72	€	0,26 M€

Jos tarkemmalla kivien käsittelyllä onnistutaan laskemaan yhden vuoden aikana hiomakivien energian ominaiskulutuksien keskiarvoja edes 20 kWh/t, saavutetaan yhdessä vuodessa jopa 0,26 miljoonan euron säästö sähkön kustannuksissa. Tämä korostaa kivi-käsittelyaikataulun noudattamisen tärkeyttä.

18. Varautuminen talviolosuhteisiin

Puun jäätyessä on odotettavissa, että valmiin massan CSF kasvaa toivottua korkeammaksi. Jäisessä puussa kuitujen välinen sideaine, ligniini, ei ehdi hiomakoneen lämpötilasta ja paineesta huolimatta pehmentyä tarpeeksi, jolloin kuiduttaminen on epätäydellistä. Kuidut repeytyvät puusta herkemmin kimppuina, jolloin CSF-luku kivenalusmassassa kasvaa. Seurauksena on valmiin massan laatuominaisuuksien heikentyminen, joka näkyy heikentyneinä lujuusominaisuuksina sekä hiokkeessa että taivekartongissa.

Liian korkeaa CSF-tasoa ei voida tällä hetkellä korjata hienorakenteisempaa rejektiosuutta nostamalla. Kappaleessa 15.5. todettiin R4-rejektinlinjan olevan kapasiteettinsa ylärajalla. Rejektimassan osuus valmiista massasta on tällä hetkelläkin niin pieni, että suuremman vaikutuksen aikaansaaminen valmiiseen massaan vaatisi huomattavan suuren osuuden noston.

Sulan puun aikaan havaittiin tuotantonopeuden laskemisen vaikuttavan laskevasti myös valmiin massan CSF-tasoon. Käytännössä valmiin massan laadun pitäminen tavoitteessa talviaikaan vaatii siis tuotantonopeuksien laskua. Tämä puolestaan johtaa tuotantomäärän laskuun. Tuotantonopeuksien laskemista laskemista on syytä tarkastella jäätyneen puun aikaan kartonkitehtaan mahdollisuuksien mukaan. Tarkkaa arvoa uunikohtaiselle tuotantonopeudelle ei voida tässä vaiheessa esittää, mutta arviona 3,5 t/h tuotantonopeuden pitäisi vaikuttaa tarpeeksi laadun saamiseksi karkealta tasolta takaisin tavoitearvon maastoon. Täydessä kuuden uunin ajossa tuotantonopeuksien laskeminen jokaisella hiomakoneella ei pitäisi vaikuttaa DNA-prosessiohjausjärjestelmän EOK/CSF-näyttöön.

Pakkaskaudella on muista toimenpiteistä huolimatta syytä jatkaa kivien käsittelyä annetun käsittelykalenterin mukaan. Vesiteräyksien tarve oletettavasti laskee, sillä jäisellä

puulla saattaa olla itseteräävä vaikutus kiven pintaan. Yleisesti kiven toiminnan kannalta on kuitenkin tärkeää jatkaa säännöllistä kivien sorvausta ja rullateräämistä kolmen kuukauden teräyssyklillä. Jos kuitenkin vaikuttaa siltä, että sorvaus ja rullateräys pitäisi tehdä useammin, voidaan niin toimia pakkaskauden ajan. Ulkolämpötilan noustessa keväällä ja puun sulaessa on kuitenkin palattava kolmen kuukauden teräyssykliin.

19. Yhteenveto kokeellisesta osasta

Kokeellisen osan alussa tutustuttiin H4 osahiomalinjan prosessikokonaisuuteen ja muodostettiin suurpiirteinen ja suuntaa-antava massatase prosessin yli. Koeajojen suunnittelua varten perehdyttiin prosessidatan avulla ja prosessioperaattoreita haastatteleamalla nykytoimintatapaan kartonkihiokkeen valmistuksessa sekä tutkittiin yhden vuoden ajalta ongelmallisimpia ajankohtia laadun kannalta. Havaintojen perusteella aiemmalla ajotavalla kahta hiomakonetta ajetaan eri tavalla kuin kolmatta konetta. Tuotantonopeuksien erojen takia kivenalusmassoissa oli poikkeavuuksia, joka osaltaan aiheutti heittelyä valmiin hiokkeen laatuun.

Kivenalusmassojen laadun tasaamiseksi tuotantonopeuksia laskettiin viidestä tonnista tunnissa neljään tonniin ja kaikki kuusi uunia otettiin käyttöön aiemman viiden sijaan. Vuorokohtaiset tuotantomäärät kasvoivat ajotapamuutoksen jälkeen, kun taas valmiin hiokemassan CSF-keskiarvot laskivat hieman kiristäen samalla laadun vaihteluväliä. Tuotantonopeuksien tasaamisen jälkeen tarkasteltiin käytössä olevia laadunvalvonnan ja -hallinnan menetelmiä. Aiemman toimintatavan mukaan laadunvalvonnassa havaittiin kehityksen tarvetta, sillä valmiin hiokemassan laatuun ei varsinaisesti päivittäisessä prosessioperaattorin työssä ollut keskitytty kovinkaan paljoa. Laadunhallinta puolestaan pohjautui tuotantotunteihin perustuvaan hiomakivien käsittelyyn, jossa aikarajoista oli menty useinkin yli.

Ennen koeajojen aloittamista tarkistettiin Inkeröisten Kartonkitehtaan asettaman laatu-tavoitteen, 330ml, oikeellisuus. Taivekartongin laatuvaatimusten, kuten palstautumislujuuden ja sileyden perusteella selvitettiin tunnettujen korrelaatioiden kautta valmiin hiokemassan laatuavoite, joka osoittautui olevan jo käytössä oleva 330 ml.

Koeajojen tuloksia tarkasteltiin massalaboratoriomääritysten ja Pulp Expertin online-mittausten perusteella. Kokeellisessa osassa esiteltiin käytetty laboratoriolaitteisto.

Ennen varsinaisten koeajojen aloittamista tunnetusta prosessidatasta etsittiin suurpiirteiset toimintarajat hiomakoneiden EOK-arvoille ja jauhatuksen tehonotolle. Tämä stabilointi oli varsin onnistunut, sillä laadun vaihteluita saatiin jo näillä toimenpiteillä vähennettyä. Stabilointi mahdollisti myös koeajojen vaikutuksien tarkastelun ilman, että tulokset jäisivät prosessin laadunvaihteluiden taakse piiloon. Varsinaisia koeajoja olivat päälinjan rejektisuhteen muuttaminen, hiomakoneiden EOK-arvojen hallinta kesällä 2016, tuotantonopeuksien nostaminen kahden kiven ajotavassa, rejektinjauhatuksen tarkastelu ja kokeet sekä kivenalusmassojen ja rejektilinjan akseptivirran laatuominaisuuksien tarkastelu.

Koeajojen perusteella todettiin rejektilinjan akseptivirran CSF- ja vetolujuusarvojen olevan samalla suoralla valmiin hiokkeen ja kivenalusmassan CSF- ja lujuusarvojen kanssa. Silloin se ei varsinaisesti toimi lujuutta tuovana elementtinä, vaan valmiin hiokemassan CSF-tavoitteen saavuttamiseksi tarvittavana vakioituna osuutena massassa. Päälinjalta otettavan rejektin osuuden määrää kokeiltiin lisätä, jotta laadun hallintaa voitaisiin siirtää rejektimassan osuuden säätöön. Rejektisuhdekoeajossa kävi kuitenkin nopeasti ilmi, että normaaliajotilanteessa (kivituotanto noin 24 t/h) R4-rejektilinja on kapasiteettinsa rajoilla, ja massavirtojen lisääminen aiheuttaa suodosvesien tulvimista säiliöissä, Thune-ruuvien toiminnan häiriöitä sekä tästä johtuvaa jauhimien toiminta-

häiriöitä.

Diplomityön aikana otettiin käyttöön korjatut tuotantonopeudet ja kuuden uunin ajo edellisen viiden uunin sijaan. Tämän tarkoituksena oli vähentää CSF-tason vaihteluita ilman, että tuotantomäärät laskevat. Valmiin hiokemassan CSF-arvon laskun ehkäisemiseksi kahden kiven ajotilanteessa otettiin käyttöön nostetut tuotantonopeudet. Kumminkin näistä ajotavoista osoittautuivat kesän 2016 aikana toimiviksi, ja ne jätetään myös jatkossa käyttöön.

Kokeellisessa osassa todettiin tämän prosessin ominaisuuksien takia hiomakoneiden EOK-arvojen seuranta parhaaksi tavaksi hallita kartonkihiokkeen laatua. EOK-arvon havaittiin korreloivan kivenalusmassan CSF-arvon kanssa. Laboratoriomäärityksien perusteella tehtiin kivenalusmassan CSF-arvolle uusi laskennallinen malli, joka toimii hyvin ennustavana arvona. Tämä lisättiin prosessinohjausjärjestelmä DNA:han omaksi ikkunakseen helpottamaan tuotantohuoltomiesten hiomakivien käsittelyä. EOK:n noustessa asetetun rajan yläpuolelle, tulee kyseinen hiomakivi vesiterätä. Vesiteräykseen tutkittiin eri paineiden vaikutuksia, ja nämä lisättiin DNA-valvontaikkunan toimintaohjeistukseen. Hiomakivien sorvaukseen ja rullateräykseen valmisteltiin käsittelykalenteri, joka säännöllistää pinnan mekaanisen käsittelyn. Vesiteräykset toimivat tälle toimenpiteelle tukevana elementtinä.

Rejektinjauhimien toimintaa tarkasteltiin laboratoriomääritysten pohjalta. Kokeiden perusteella havaittiin, että jonkinlaisia korrelaatioita voidaan jauhetun massan CSF-arvon ja jauhimien tehonoton välille tehdä. Jauhimen G307 tehon ollessa keskikorkealla tasolla (noin 800-1000 kW), saavutetaan sopiva jauhatus ja hyvä tikkureduktio, mutta jauhimen G306 tulokset eivät tue kuin CSF-arvon osalta samaa teoriaa. Tähän syy voi olla esimerkiksi syöttömassavirtojen epätasaisuus kahden jauhimen välillä. Tässä työssä ei ollut mahdollisuutta tarkastella jauhimien toimintaa enempää.

Viimeiseksi otettiin kantaa hiomakivien EOK-arvojen hallinnan tuomiin energian säästöihin ja talviolosuhteisiin varautumiseen. EOK:n hallitseminen ja tiukoissa rajoissa pitäminen voi tuoda jopa 0,25 miljoonan euron vuosittaiset säästöt H4-osahiomalinjalla. Talviolosuhteiden ja jäisen puun aiheuttamien laadullisten vaihteluiden ehkäisemiseksi suositeltiin, että kivien käsittelyaikataulusta pidetään kiinni ja tarvittaessa uunikohtaisia tuotantonopeuksia lasketaan.

20. Johtopäätökset ja jatkotoimenpide-ehdotukset

Stora Enson Anjalan Paperitehtaan kartonkihiokkeen valmistukseen käytettävällä H4-osahiomalinjalla on prosessin suunnittelusta ja jo tehdyistä kapasiteetin nostoista johdettua useita pullonkauloja, jotka vaikuttavat laadunhallintaan. Laadunhallinnan tärkeimpänä tunnusmerkkinä toimii valmiin hiokkeen CSF, jonka tärkeimpänä ohjaussuurena toimivat hiomakoneiden EOK-arvot. Tähän voidaan vaikuttaa tällä hetkellä hiomakivien käsittelyn lisäksi vain hienosäätävällä asteella.

Jatkossa prosessin laadunhallinnassa on keskityttävä hiomakivien kunnan ylläpitoon valmiin hiokkeen CSF-arvon pitämiseksi tavoitteessaan. Jokaisen kiven pinnan kunnan valvomiseksi toteutettiin prosessinohjausjärjestelmä DNA:han hiomakoneiden EOK-arvoon perustuva laskennallisen kivenalusmassan CSF-arvon valvontanäyttö, joka antaa ohjaavasti tietoa kivien pintojen kunnosta ja kivenalusmassan laadusta. Laskennallisten arvojen varmistamiseksi on syytä tehdä myös tarkistusmääryityksiä hiomolle CSF:n määrittelyyn hankitulla laitteistolla. EOK-arvoon perustuvan vesiteräyksen ohella on erityisen tärkeää pitää kiinni kivi-käsittelykalenterista, johon on merkitty sorvaus- ja rullateräyspäivämäärät kolmen kuukauden välein. Kalenteri on suunniteltu vuoden 2017 loppuun saakka. Kalenteri on toimitettu tuotantohuoltomiesten toimistoon. Se löytyy

myös tämän työn liitteestä F.

Jatkossa on myös tärkeää noudattaa tässä diplomityössä ehdotettua kahden kiven ajomallia, jossa tuotannon ollessa kahdella hiomakivellä tuotantonopeuksia nostetaan neljästä tonnista tunnissa viiteen. Tämä ehkäisee tehokkaasti laadussa tapahtuvia notkahduksia.

Jatkotoimenpiteiksi ehdotetaan rullateräyksen optimoinnin tutkimista, kunhan sorvaus- ja rullateräys saadaan sidottua kalenteriin. Tasaisen toimintatavan ollessa käytössä voidaan tutkia eri rullateräyskulmien- ja syvyyksien sekä uramäärän vaikutusta pinnan kunnon kestoon ja laadunhallintaan. Toinen tärkeä jatkotutkimuksen aihe on kartonkihiokkeen valmistuksen kapasiteetin nosto. Tähän painetta luo Inkeröisten Kartonkitehtaan suunnitelma nostaa kartonkikoneen kapasiteettia entisestään. Tällä hetkellä prosessissa on useita pullonkauloja, jotka estävät tuotannon kasvattamista. Erityisen tärkeää olisi tutkia rejektilinjan kapasiteetin nostokykyä. Tuotantonopeuksia nostettaessa rejektilinjan akseptin muodostaessa vain 10 % valmiista hiokemassasta tulee hiokkeen CSF-arvo nousemaan huomattavasti. Rejektin osuutta on pystyttävä nostamaan, jotta tuotantokapasiteettia voidaan nostaa. Kolmanneksi tutkimuskohteeksi ehdotetaan jauhimien toiminnan tutkimista ja niiden optimointia tasaisen jauhatustuloksen saavuttamiseksi ajettaessa kummallakin jauhimella riippumatta Thune-ruuvipuristimien käytöstä.

Päivittäistä prosessiohjausta varten valmistellaan tämän diplomityön pohjalta ohjeistukset EOK-seurannasta ja laskennallisen CSF:n muodostamisesta, rejektijauhatuksen toimintarajoista ja perusteista, sorvauksen ja rullateräyksen ohjeistus ja käsittelykalenteri sekä kattava koostettu tietopaketti H4-osahiomalinjan laadunhallinnan perusteista.

Tämän diplomityön tavoitteena oli etsiä Anjalan Paperitehtaan hiomon H4 osahiomalinjan laatuun vaikuttavia tekijöitä ja tutkia niiden hallintaan mahdollisuuksia. Tavoitteisiin päästiin, sillä jo diplomityön aikana laadunhallintaan saatiin uusia työkaluja, kuten tuotantonopeuksien hallinta kahden kiven ajossa ja erilaisten korrelaatioiden ymmärtäminen prosessin ohjauksessa. Tällaisia korrelaatioita olivat kivenalusmassan riippuvuus hiomakoneen EOK:sta ja jauhimien tehojen vaikutus rejektilinjan akseptin laatuun. Hiomakoneiden kivien käsittelyä varten valmisteltiin toimintaohjeet jatkoa varten sekä valvontasivu prosessinohjausjärjestelmä DNA:han. Laadunhallinnan käytännön ongelmia ovat prosessin pullonkaulakohdat, jotka estävät tiettyjen normaalisti toimivien laadunhallinnan työkalujen käytön, kuten rejektisuhteen muuttamisen.

Työn tuloksena on saatu kavennettua valmiin hiokemassan laadussa tapahtuvaa vaihtelua ja pystytty antamaan työkaluja parempaan laadunhallintaan.

Lähdeluettelo

1. KnowPap 17.0., Raaka-aineet, AEL Oy, 2015
2. Varhimo, A., Sirviö, J., Tuovinen, O., Wood raw materials, Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5, 2. painos, Lönnberg, B. (Ed.), Gummerus Oy, Jyväskylä, 2009, s.70-115.
3. KnowPap 17.0., Mekaanisen massan valmistus, AEL Oy, 2015
4. Biermann, C. J., Handbook of Pulping and Papermaking, 2. painos, Elsevier, 1996, ss. 67
5. Karojärvi, R., Haikkala, P., Liimatainen, H., Lucander, M., Tuovinen, O., Grinding and pressure grinding, Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5, 2. painos, Lönnberg, B. (Ed.), Gummerus Oy, Jyväskylä, 2009, s. 116-173.
6. Smook, G.A., Handbook for Pulp and Paper Technologists, 2. Painos, Angus Wilde Publications, Vancouver, 1992, s. 9-19.
7. Alén, R., Structure and chemical composition of wood, Forest Products Chemistry, Papermaking Science and Technology, Stenius, P. (Ed.), Book 3, Fapet Oy, Helsinki, 2000, s. 12-57.
8. Smook, G.A., Handbook for Pulp and Paper Technologists, 2. Painos, Angus Wilde Publications, Vancouver, 1992, s. 27-28.
9. KnowPap 17.0., Kuorinta, AEL Oy, 2015
10. KnowPap 17.0., Hiokkeen valmistus, AEL Oy, 2015
11. Sundholm, J., Idea of mechanical pulping, Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5, 2. painos, Lönnberg, B. (Ed.), Gummerus Oy, Jyväskylä, 2009, s. 17-23.
12. Jääskeläinen A.-S., Sundqvist, H., Puun rakenne ja kemia, Julk. Otatieto/Oy Yliopistokustannus University Press Finland Ltd., Hakapaino Oy, Helsinki, 2007. 142 s.

13. Williams, P. A., Renewable Resources for Functional Polymers and Biomaterials, Royal Society of Chemistry, 2011, Cambridge, ss. 50
14. Endres, H.-J., Siebert-Raths, A., Engineering Biopolymers, Hanser Publishers, München, 2011, ss. 116-117.
15. Pavlov, D., Lead-Acid Batteries: Science and Technology, A Handbook of Lead-Acid Battery Technology and its Influence on the Product, Elsevier, Oxford, 2011, ss. 313-314.
16. Sandås, E., Effects of pulpstone grits in wood grinding, KUITU-tutkimusohjelma, Raportti 14, Oy Keskuslaboratorio – Centrallaboratorium Ab, 1991, s. 13.
17. Biermann, C. J., Handbook of Pulping and Papermaking, 2. painos, Elsevier, San Diego, 1996, ss. 139-142.
18. Heikkurinen, A., Leskelä, L., Heinemann, S., Vehniäinen, A., The character and properties of mechanical pulps, Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5, 2. painos, Lönnberg, B. (Ed.), Gummerus Oy, Jyväskylä, 2009, s. 458-514.
19. KnowPap 17.0., Massan mittaukset, AEL Oy, 2015
20. Kajanto, I., Laamanen, J., Kainulainen, M., Paper bulk and surface, Paper Physics, Papermaking Science and Technology, Niskanen, K., (Ed.), Book 16, Fapet Oy, Helsinki, 1998, s. 88-115.
21. KnowPap 17.0., Paperin ja kartongin ominaisuudet, AEL Oy, 2015
22. Blechschmidt, J., Heinemann, S., Mechanical Pulping Processes, Handbook of Pulp, Sixta, H. (Ed.), Wiley, Weinheim, 2006, ss. 1079-1111.
23. Tuovinen, O., Power threshold effect in grinding – an expression of elastic work?, O PAPEL, **73** (2012) 69-73
24. Huusari, E., Lundin, T., Vuorio, P., Reject refining, Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5, 2. painos, Lönnberg, B. (Ed.), Gummerus Oy, Jyväskylä, 2009, s. 328-359.

25. Hautala, J., Hourula, I., Jussila, T., Pitkänen, M., Niinimäki, J., Jokinen, H., Lepinen, J., Ämmälä, A., Screening and cleaning, Mechanical Pulping, Papermaking Science and Technology, Book 5, 2. painos, Lönnberg, B. (Ed.), Gummerus Oy, Jyväskylä, 2009, s. 328-359.
26. KnowPap 17.0., Hiokkeen valmistus, AEL Oy, 2015
27. Blechschmidt, J., Heinemann, S., Processing of Mechanical Pulp and Reject Handling: Screening and Cleaning, Handbook of Pulp, Sixta, H. (Ed.), Wiley, Weinheim, 2006, ss. 1113-1122.
28. Voith Paper, Thune screw presses for sludge – the innovative screw press design for high dry contents, Twogether, **22** (2006), s. 27. Saatavissa: <http://voith.com/en/twogether-article-22-en-24-tranby.pdf>, viitattu 5.2.2016.
29. Miles, K., Refining intensity and pulp quality in high-consistency refining, Paperi ja Puu – Paper and Timber, **72** (1990), s. 508-514.
30. Miles, K.B., Karnis, A., The response of mechanical and chemical pulps to refining, TAPPI Journal, January, **74** (1991), s. 157-164.
31. Miles, K.B., May, W.D., The flow of pulp in chip refiners, The Journal of Pulp and Paper Science, **16** (1990), s. J63-J72.
32. Levlin, J.-E., General physical properties of paper and board, Pulp and Paper Testing, Papermaking Science and Technology, Levlin, J.-E. (Ed.), Söderhjelm, L. (Ed.), Book 17, Fapet Oy, Helsinki, 1999, s. 137-161.
33. Kajanto, I., Structural mechanics of paper and board, Paper Physics, Papermaking Science and Technology, Niskanen, K., (Ed.), Book 16, Fapet Oy, Helsinki, 1998, s. 193-221.
34. KnowPap 17.0., Lujuusominaisuudet, AEL Oy, 2015
35. Hakkila, P., Structure and properties of wood and woody biomass, Forest Resources and Sustainable Management, Papermaking Science and Technology, Kellomäki, S. (Ed.), Book 2, Fapet Oy, Helsinki, 1998, s. 117-185

36. Blomqvist, S., Liimatainen, H.U., Sundström, K., Vahteri, R.T., Method for regulation of grinding process in a pocket grinder, US 4688725, 1987.
37. Tuovinen, O., Arrangement for treating pulpstone surface, US 20050116072, 2005.
38. Krotscheck, A.W., Pulp Screening, Cleaning, and Fractionation, Handbook of Pulp, Sixta, H. (Ed.), Wiley, Weinheim, 2006, ss. 561-608.
39. Fellers, C., de Ruvo, A., Htun, M., Carlsson, L., Lundberg, R., Engman, C., Carton Board. Profitable use of pulps and processes. Swedish Forest Products Research Laboratory (STFI), Tukholma, 1983, ss. 75-77
40. Björkqvist, T., Lucander, M., Grinding surface with an energy efficient profile, International Mechanical Pulping Conference, Proceedings volume 2, Helsinki 2001, ss. 373-380. <http://forest.uef.fi/~karenlam/petri/mechan/4230Bjor.pdf>
41. Lucander, M., Björkqvist, T., Tuovinen, O., Method and apparatus for mechanical defibration of wood, US20060283990, 2006.
42. Lumiainen, J. Refining of chemical pulp, Papermaking Part 1, Stock Preparation and Wet End, Papermaking Science and Technology, Book 8, Paulapuro, H. (Ed.), Fapet Oy, Helsinki, 2000, ss. 86-123.
43. Häggblom-Ahnger, U., Komulainen, P., Paperin ja kartongin valmistus, 3. painos, Gummerus Kirjapaino Oy, Jyväskylä, 2003, ss. 112-120.
44. Salmi, A., What should the grindstone surface look like to produce pulp with least energy?, Helsinki University Print, HU-P-D192, Helsinki 2012, 58 s.
45. Björkqvist, T., Menetelmä ja laite puun mekaaniseksi kuiduttamiseksi, FI98148, 1997.
46. Tuovinen, O., Device and Method for Defibration of Wood, US 20090308549, 2009.
47. Panula-Ontto, S., Lucander, M., Pöhler, T., Saharinen, E., Björkqvist, T, Fatigue treatment of wood by high-frequency cyclic loading, International Mechanical Pulping Conference Tappi, 6-9 May, Minnesota, 2007, 7.

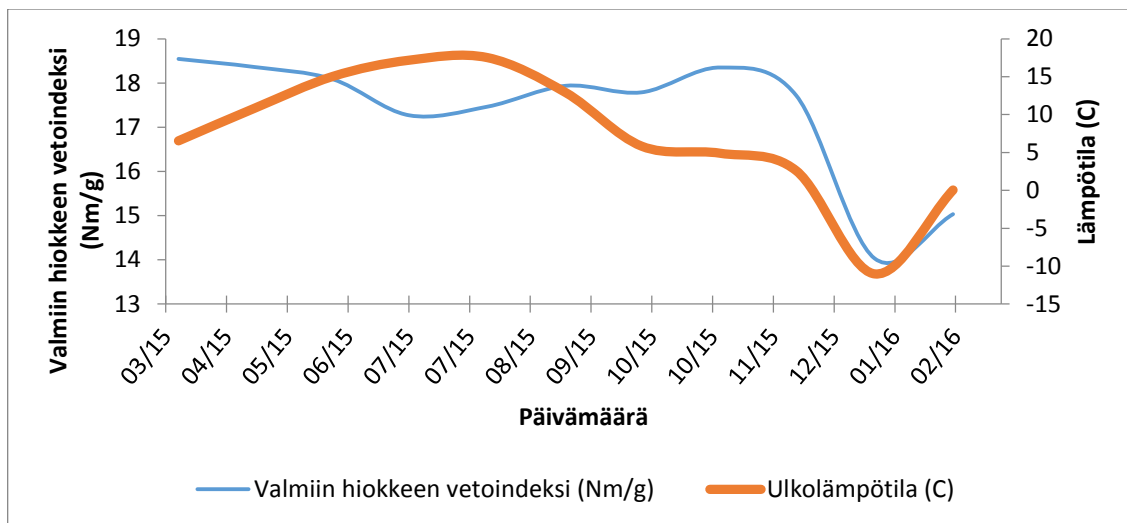
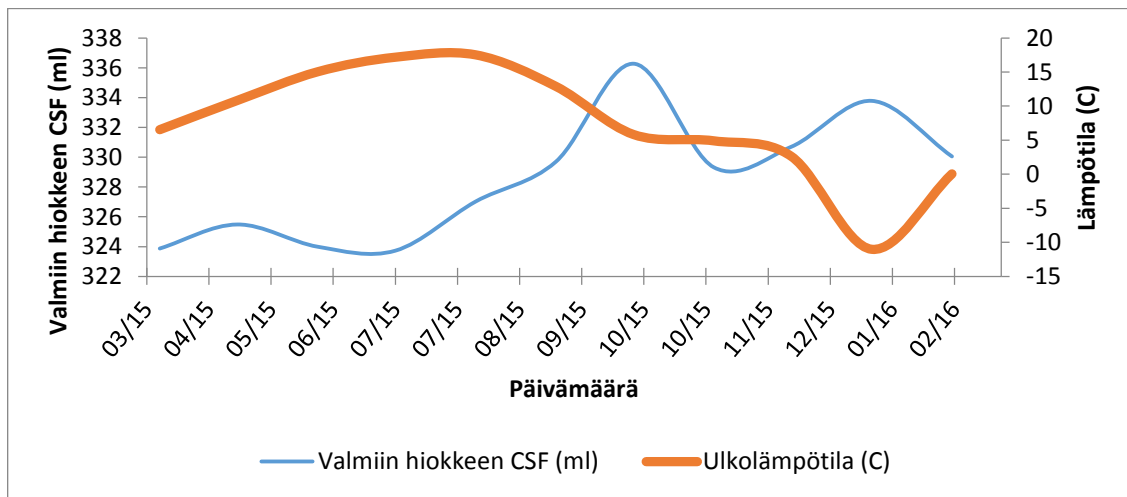
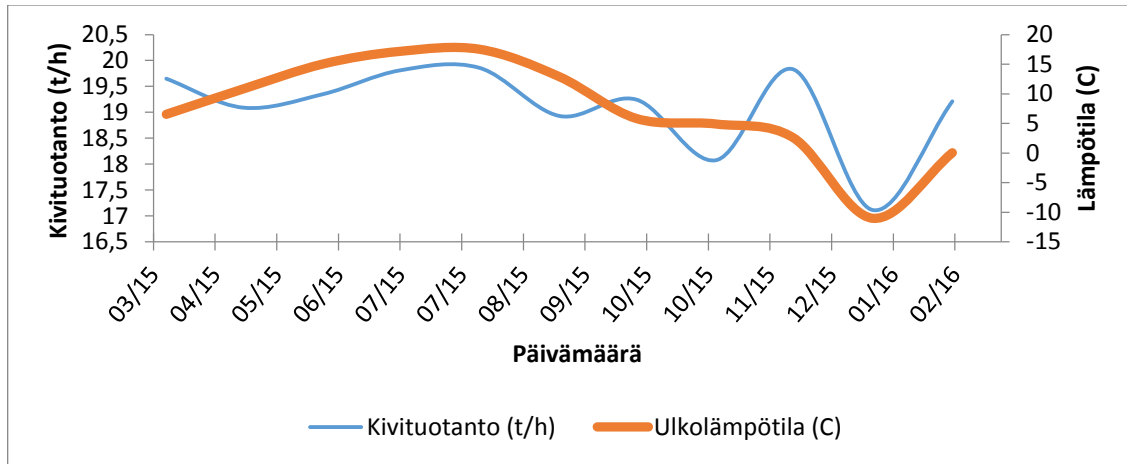
48. Salmén, L., The effect of the frequency of a mechanical deformation on the fatigue of wood, *The Journal of Pulp and Paper Science*, **13**(1987), ss. 23-28.
49. Rand, J. L., A nonlinear viscoelastic creep model, *Tappi Journal*, **78**(1995), ss. 178-182.
50. Dumail, J.-F., Salmén, L., Shear and compression behavior of wood in relation to mechanical pulping, *International Mechanical Pulping Conference*, Houston, 1999, ss. 213-219.
51. Stora Enso Ingerois Oy, Sisäinen esite.
52. KnowPap 17.0., Mittaukset ja toimilaitteet, AEL Oy, 2015
53. Valmet, PGW Screening H4, Prosessisuunnitelma, Enso Group, 1997
54. Metso, Metso DNA, Painehiomon prosessiohjausjärjestelmä
55. Tuominen, R., Haikkala, P., Liimatainen, H., Effect of dry and frozen wood on groundwood pulp quality, *Paperi ja Puu – Paper and Timber*, **73** (1991), s. 346-351.
56. Haikkala, P., Lucander, M., Lönnberg, B., The effect of stone surface modification on groundwood properties, *International Mechanical Pulping Conference 1983*, TAPPI, Washington, USA, 1983, s. 79-83.
57. Bergström, J. Hellström, H., Steenberg, B., analysis of grinding process variables, *Svensk Papperstidning*, **60** (1957), s. 409-411.
58. Paulapuro, H., Operating model of a grinder, Part I. Interdependence of motor load and rate of production of a grinder, *Paperi ja Puu*, **58** (1976), s. 5-18.
59. Paulapuro, H, Operating model of a grinder, Part II. Interdependence of grinding process variables and groundwood pulp quality parameters, *Paperi ja Puu*, **58** (1976), s. 659-672.
60. Suunnittelukokous Andritz Pulp & Paper, Kraft and Paper Mill Services - edustajien kanssa Stora Enson Anjalankosken tehtaiden painehiomolla 2.3.2016.

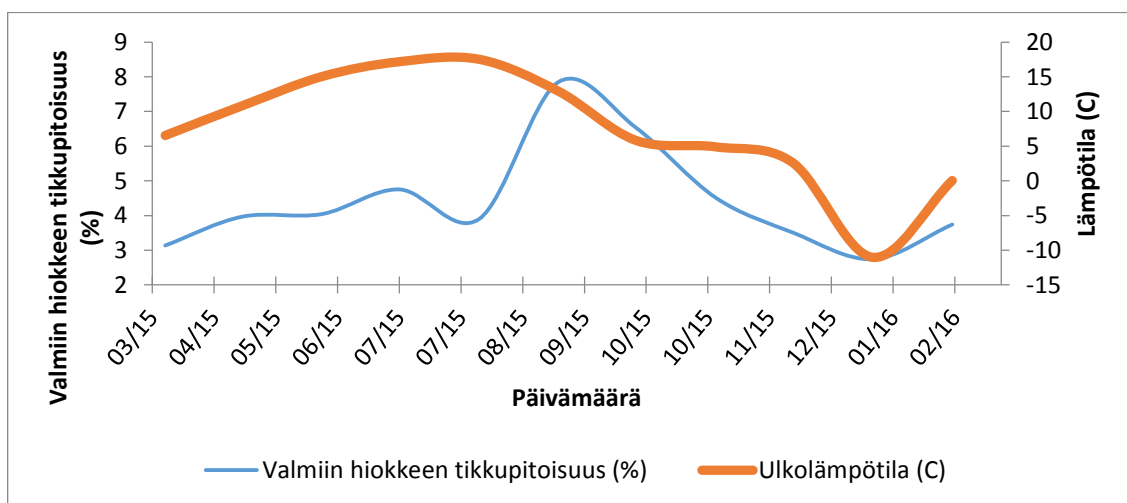
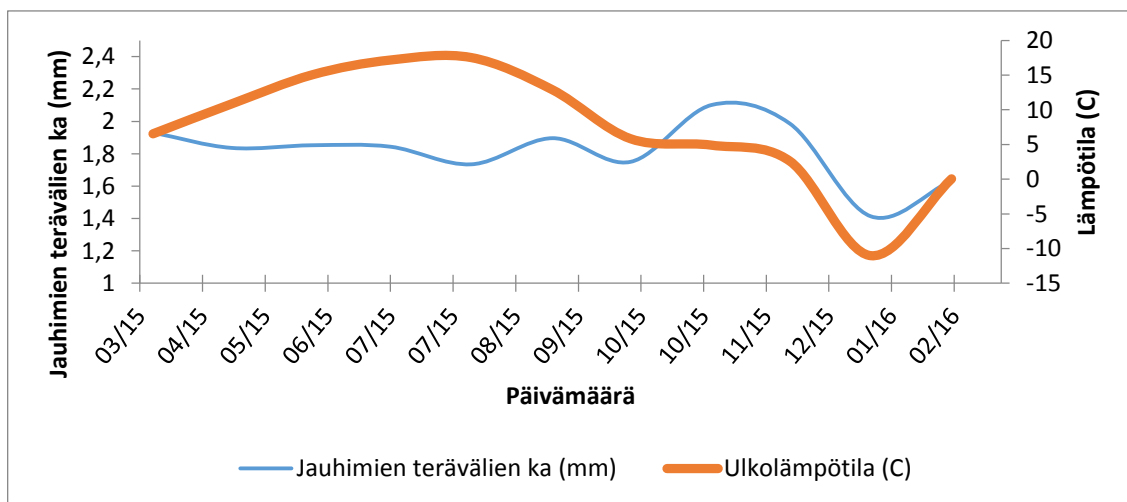
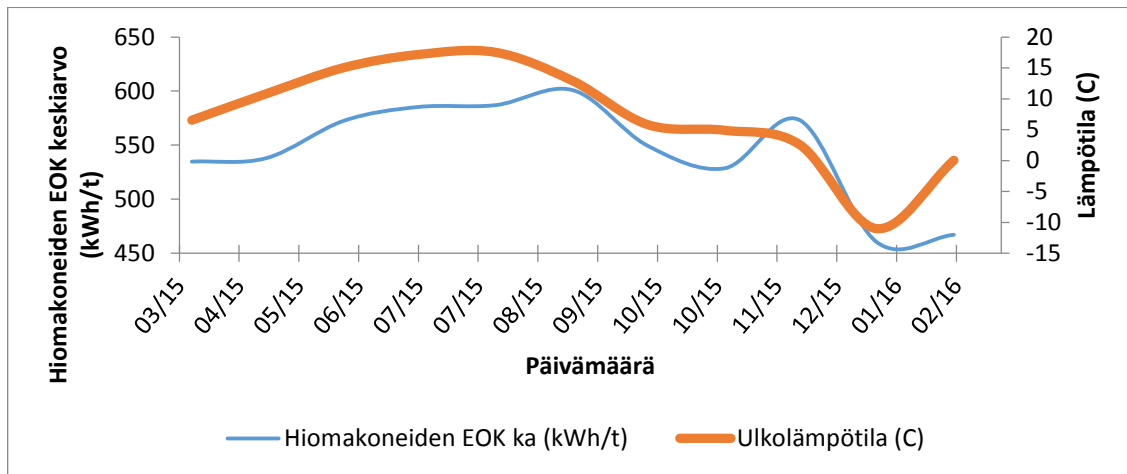
61. Anonyymi, Valmet Pulp Expert,
<http://www.valmet.com/products/automation/analyzers-and-measurements/analyzers/pulp-expert/>, 7.3.2016
62. Kalaoja, M., Koivun rumpukuorintaan vaikuttavat tekijät talvella, Diplomityö, Oulun Yliopisto, Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto, Sääntötekniikan laitos, Oulu 2013, 81 s.
63. Carlsson, L. A., Lindström, T., A shear-lag approach to tensile strength of paper, Composite Science and Technology, **65** (2005), s. 183-189.
64. Lutz, M., Refiner sensor and coupling arrangement, US20050211809 A1, 2005.
65. Tuovinen, O., Water Jet Control koulutus 12.9.2005, Hiomakoneen hionnan ohjaus. Stora Enson Anjalan Paperitehtaan koulutusmateriaali, 2005, Metso Paper.
66. Eurostat, Euroopan Komissio, *Electricity prices by type of user - Medium size industries*,
<http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/refreshTableAction.do?tab=table&plugin=1&pcode=ten00117&language=en>, 13.9.2016
67. Herttuainen, P., *Fraktioidinnin tehostaminen lajittelussa*, Diplomityö, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Kemiantekniikan osasto, Lappeenranta 2010, 80 s.
68. Kunnas, H., Lajittelun mahdollisuudet hiokkeen laadun parantamiseen lopputuotteen ominaisuudet huomioiden, Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Puunjalostustekniikan osasto, Espoo 2007, 119 s.

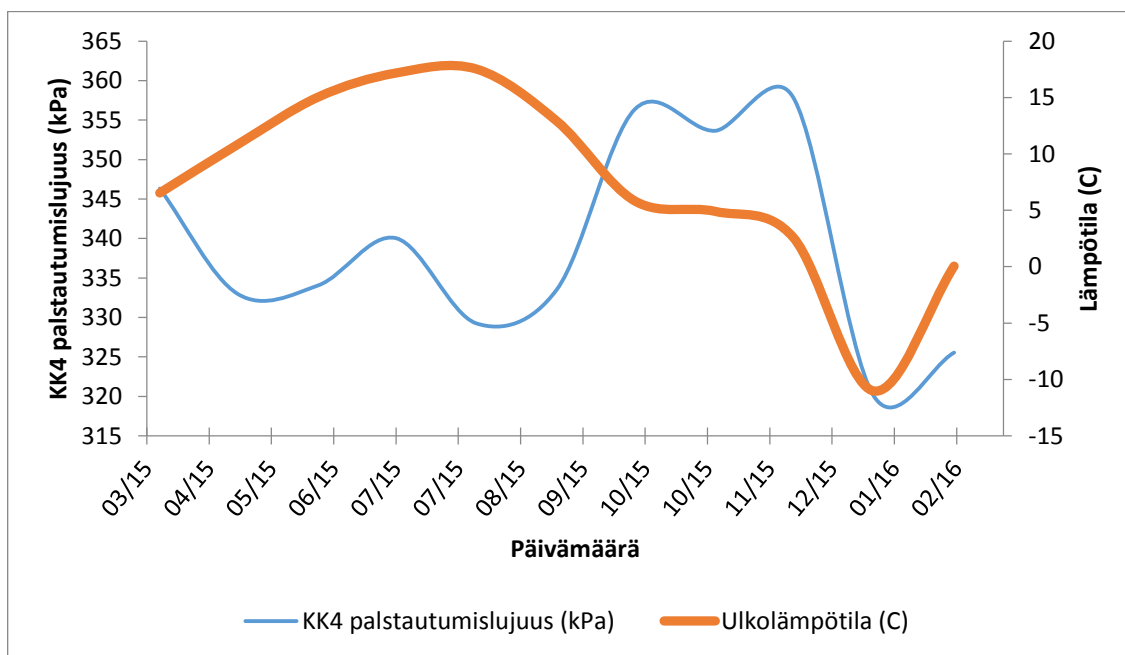
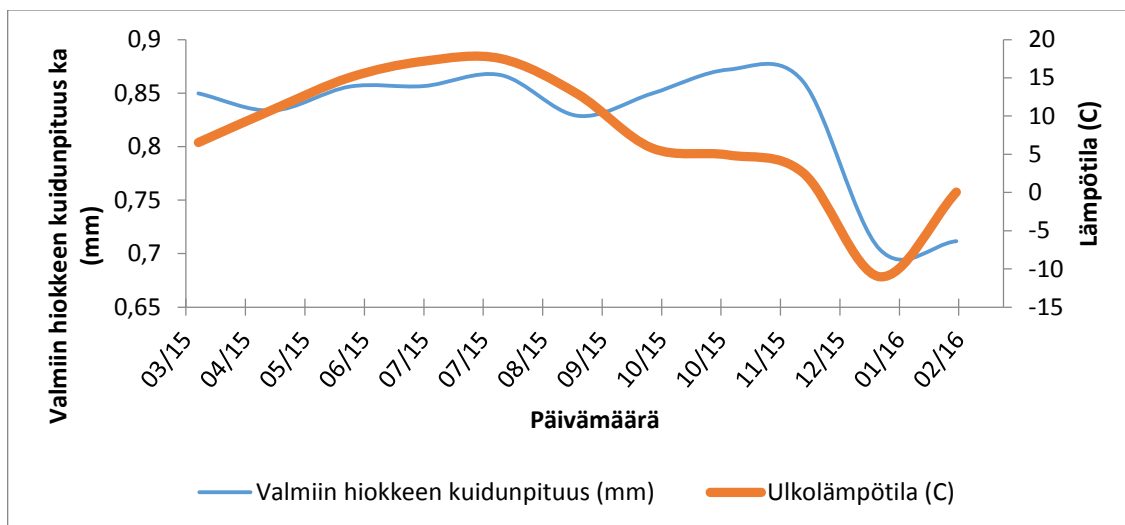
Liiteluettelo

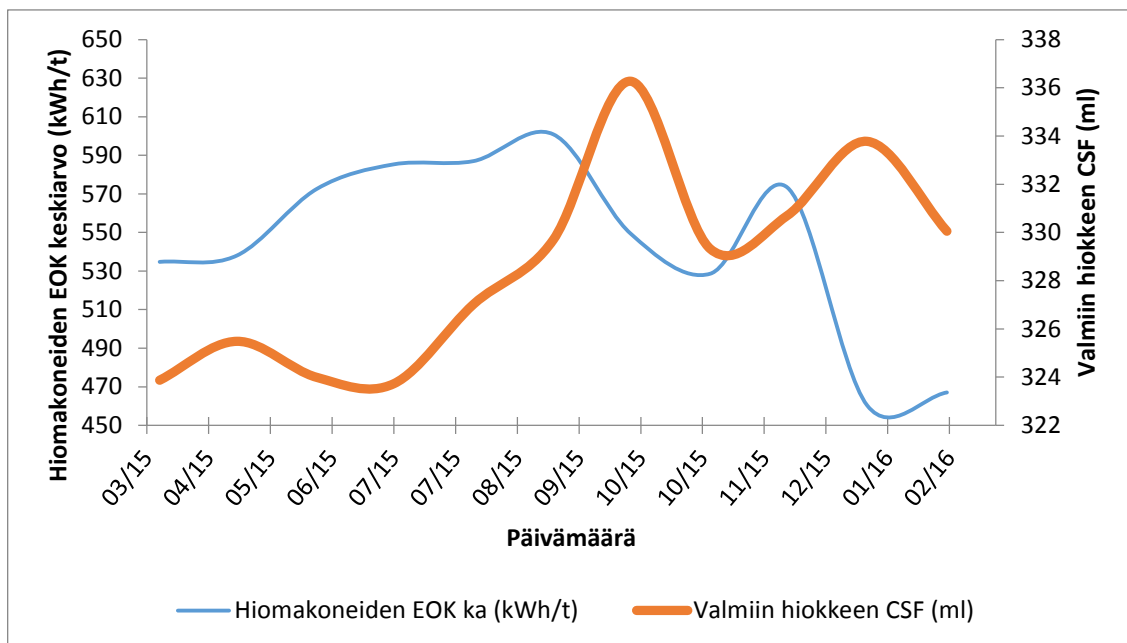
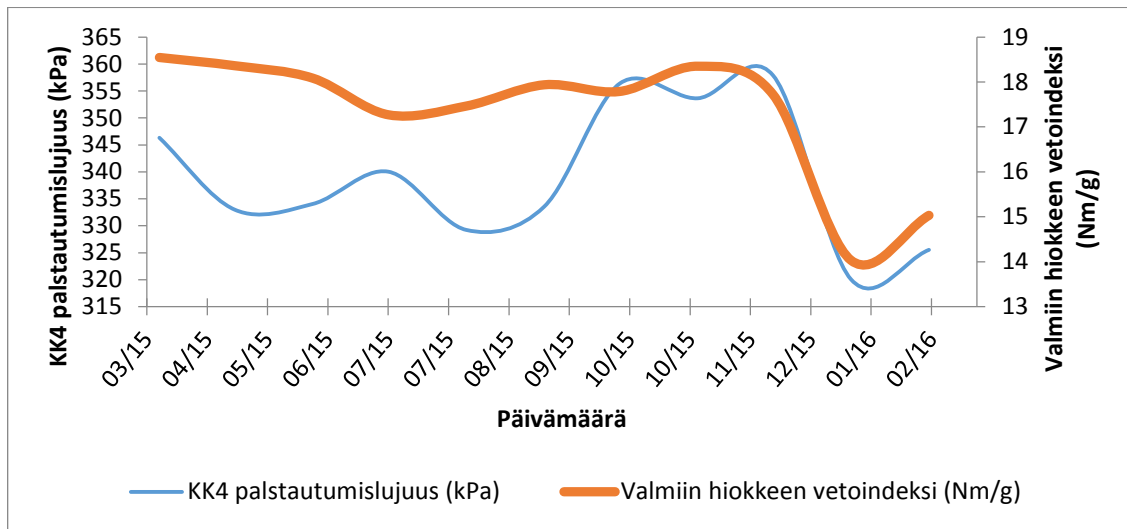
Liite A	H4 osahiomalinjan prosessisuureita lämpötilan funktiona 04/15 - 02/16
Liite B	R4 rejektilinjan akseptin vetolujuusmittaukset
Liite C	Lämpötilakorjaustaulukko CSF-luvun määrittämisessä
Liite D	Osahiomalinjan H4 valmiin massan ja rejektilinjan akseptin CSF-kuvaajia
Liite E	Hiomakivien vesiteräyksien vaikutukset kesä- ja heinäkuussa 2016.
Liite F	H4 osahiomalinjan kiviäsittelykalenteri

Vuosidatan tarkastelu







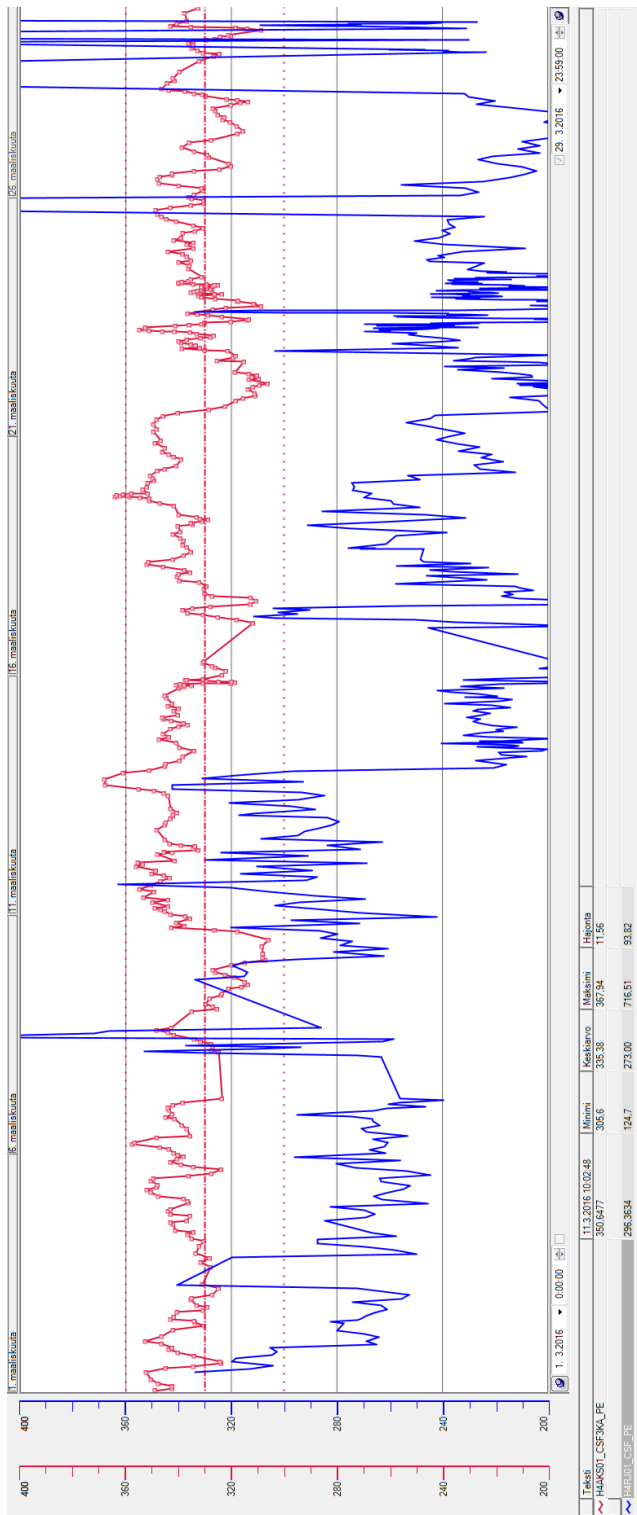


[illegible]

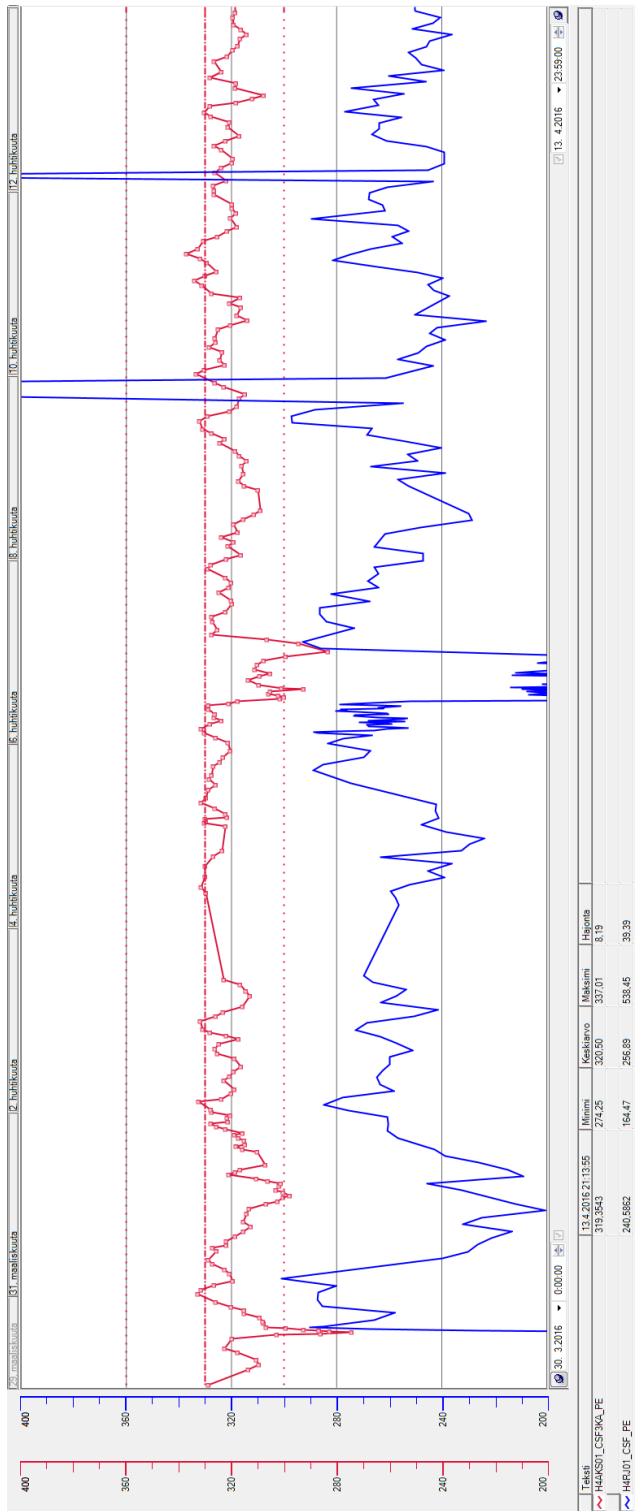
CSF korjaustaulukko

Table of freeness corrections to 20 °C

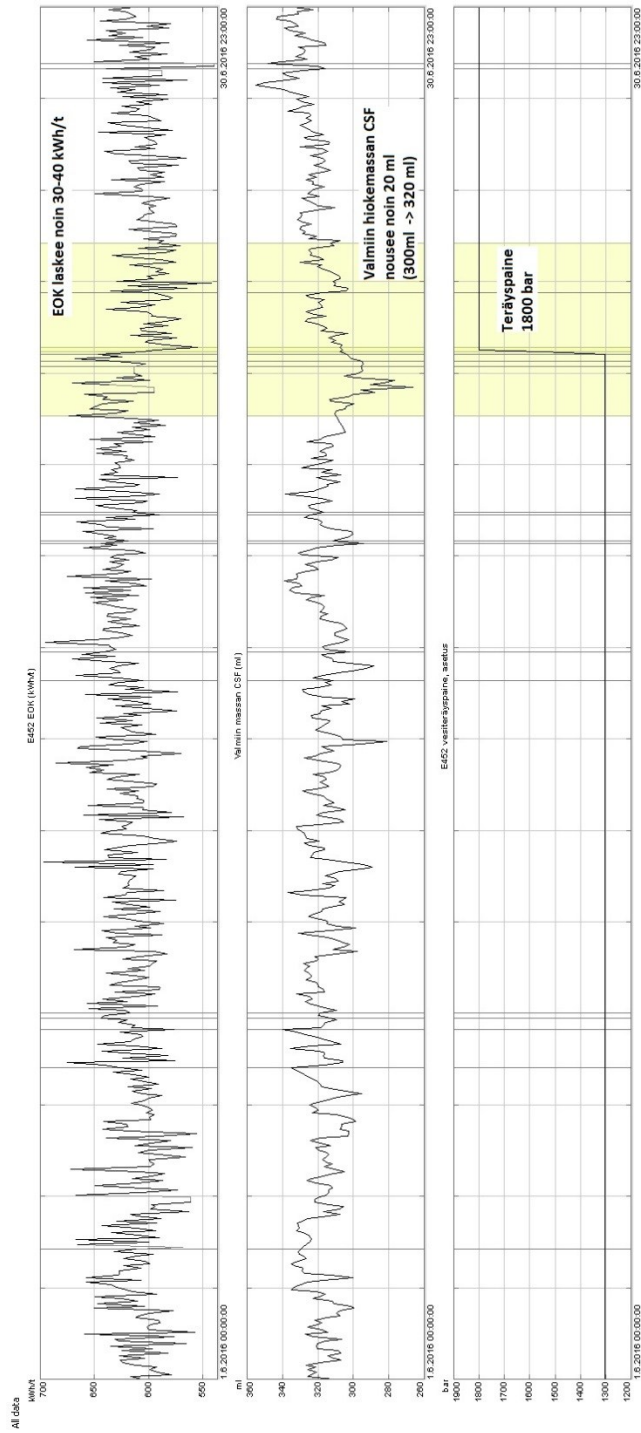
Free- ness read	Temperature of stock at test in degrees Celsius																				Free- ness read		
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29		30	
	Points freeness to be added											Points freeness to be subtracted											
30	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	11	30	
40	12	10	9	8	7	6	5	3	2	1	0	1	2	3	5	6	7	8	9	10	12	40	
50	14	12	11	10	8	7	6	4	3	1	0	1	3	4	6	7	8	10	11	12	14	50	
60	15	14	12	11	9	8	6	4	3	1	0	1	3	4	6	8	9	11	12	14	15	60	
70	17	15	13	12	10	8	7	5	3	2	0	2	3	5	7	8	10	12	13	15	17	70	
80	19	17	15	13	11	9	8	6	4	2	0	2	4	6	8	9	11	13	15	17	19	80	
90	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	90	
100	21	19	17	15	13	10	8	6	4	2	0	2	4	6	8	10	13	15	17	19	21	100	
110	23	21	18	16	14	11	9	7	5	2	0	2	5	7	9	11	14	16	18	21	23	110	
120	25	22	20	17	15	12	10	7	5	2	0	2	5	7	10	12	15	17	20	22	25	120	
130	26	23	21	18	16	13	11	8	5	3	0	3	6	8	11	13	16	18	21	23	26	130	
140	27	24	22	19	16	14	11	8	5	3	0	3	5	8	11	14	16	19	22	24	27	140	
150	29	26	23	20	17	14	11	9	6	3	0	3	6	9	11	14	17	20	23	26	29	150	
160	30	27	24	21	18	15	12	9	6	3	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	160	
170	31	28	25	22	18	15	12	9	6	3	0	3	8	9	12	15	18	22	25	28	31	170	
180	32	29	26	22	18	16	13	10	6	3	0	3	6	10	13	16	19	22	26	29	32	180	
190	33	30	26	23	20	16	13	10	6	3	0	3	6	10	13	18	20	23	26	30	33	190	
200	34	31	27	24	20	17	13	10	7	3	0	3	7	10	13	17	20	24	27	31	34	200	
210	35	31	28	24	21	18	14	10	7	3	0	3	7	10	14	18	21	24	28	31	35	210	
220	36	32	29	25	22	18	14	10	7	4	0	4	7	10	14	18	22	25	29	32	36	220	
230	37	33	30	26	22	18	15	11	7	4	0	4	7	11	15	19	22	26	30	33	37	230	
240	38	34	31	27	23	19	15	11	8	4	0	4	8	11	15	19	23	27	31	34	38	240	
250	39	35	31	27	23	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	23	27	31	36	39	250	
260	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	260	
270	41	37	33	29	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	29	33	37	41	270	
280	42	38	34	29	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	29	34	38	42	280	
290	42	38	34	29	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	29	34	38	42	290	
300	43	38	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	300	
310	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	310	
320	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	39	43	320	
330	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	330	
340	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	340	
350	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	350	
360	44	40	35	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	35	40	44	360	
370	45	41	36	31	26	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	26	31	36	41	45	370	
380	45	41	36	31	27	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	27	31	36	41	45	380	
390	45	41	36	31	27	23	18	14	9	4	0	4	9	14	18	23	27	31	38	41	45	390	
400	46	41	37	32	28	23	18	14	9	4	0	4	9	14	18	23	28	32	37	41	46	400	
420	45	41	36	31	27	23	18	14	9	4	0	4	9	14	18	23	27	31	36	41	45	420	
440	45	41	36	31	27	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	27	31	36	41	45	440	
460	44	40	35	31	27	22	18	13	9	4	0	4	9	13	18	22	27	31	35	40	44	460	
480	43	39	34	30	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	30	34	38	43	480	
500	42	38	34	29	25	21	17	13	8	4	0	4	8	13	17	21	25	29	34	38	42	500	
520	42	38	33	29	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	29	33	38	42	520	
540	42	37	33	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	33	37	42	540	
560	41	37	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	37	41	560	
580	41	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	41	580	
600	40	36	32	28	24	20	16	12	8	4	0	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	600	
620	39	35	31	27	23	19	16	12	8	4	0	4	8	12	16	19	23	27	31	35	39	620	
640	37	33	29	25	21	18	14	11	7	4	0	4	7	11	14	18	21	25	29	33	37	640	
660	36	32	28	26	21	17	14	10	7	3	0	3	7	10	14	17	21	25	28	32	36	660	
680	35	31	27	24	20	17	13	10	6	3	0	3	6	10	13	17	20	24	27	31	35	680	
700	33	30	26	23	20	16	13	9	6	3	0	3	6	9	13	18	20	23	26	30	33	700	



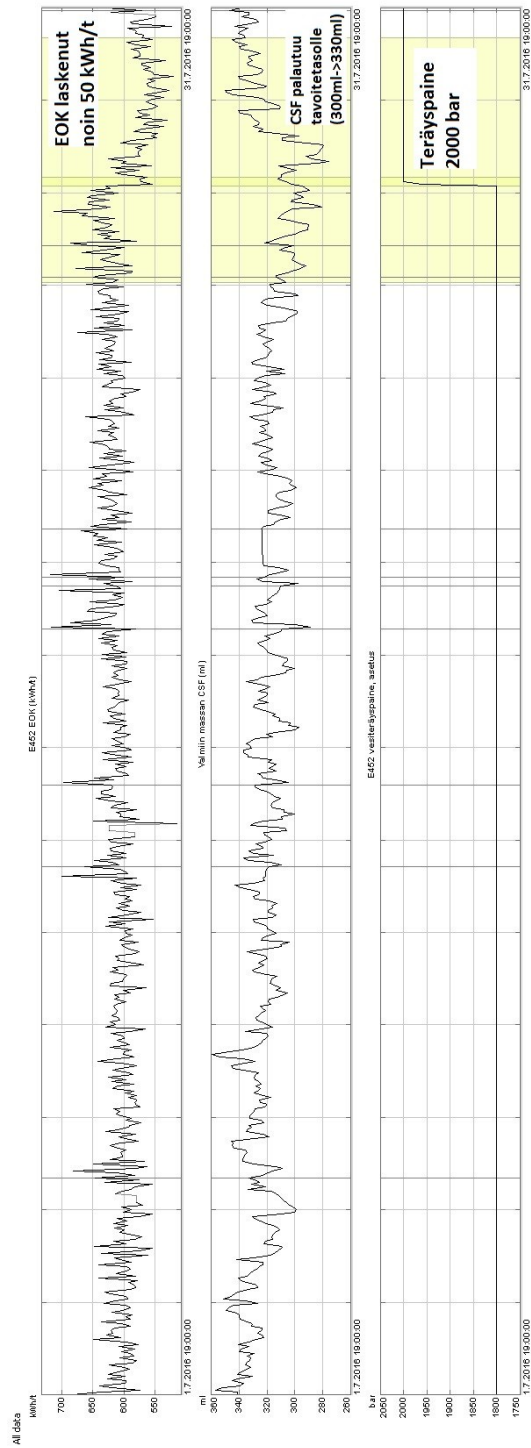
Valmiin hiokemassan (ylempi) ja rejektilinjan akseptin (alempi) CSF 1.3.-29.3.2016



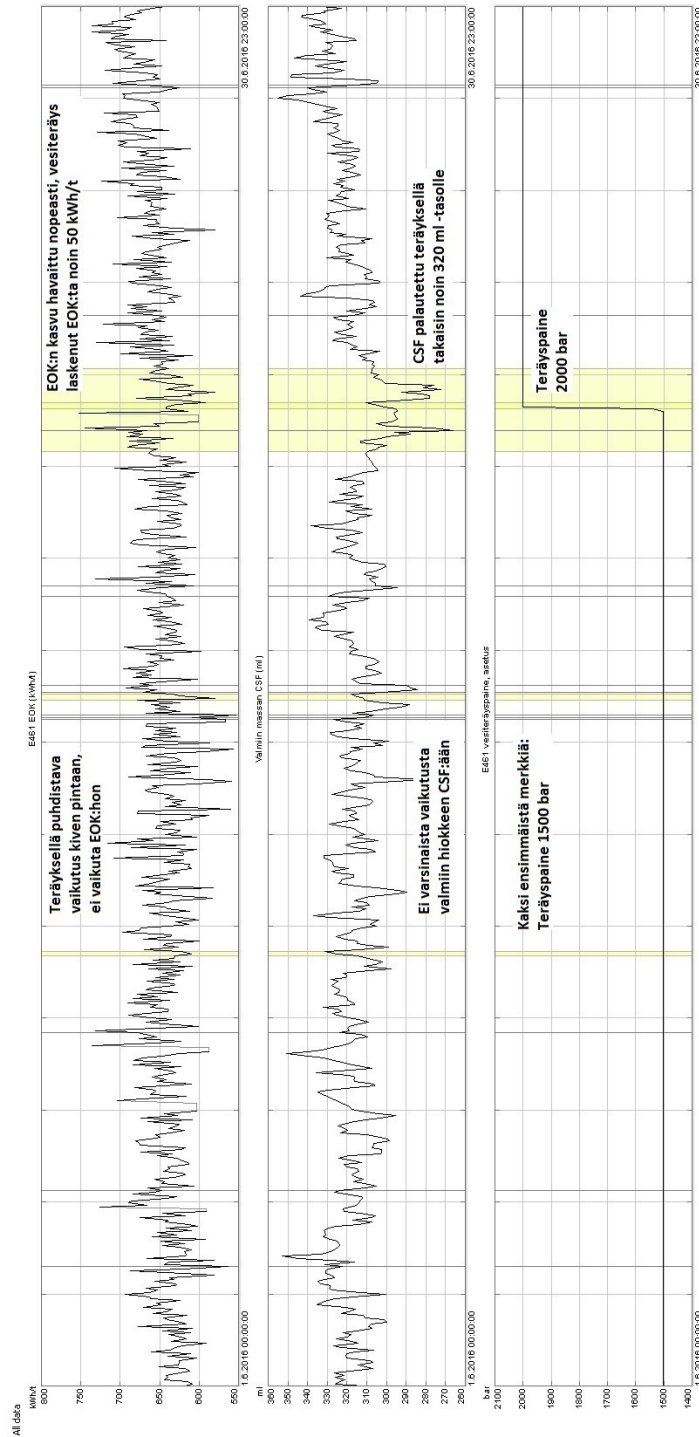
Valmiin hiokemassan (ylempi) ja rejektilinjan akseptin (alempi) CSF 30.3.-13.4.2016



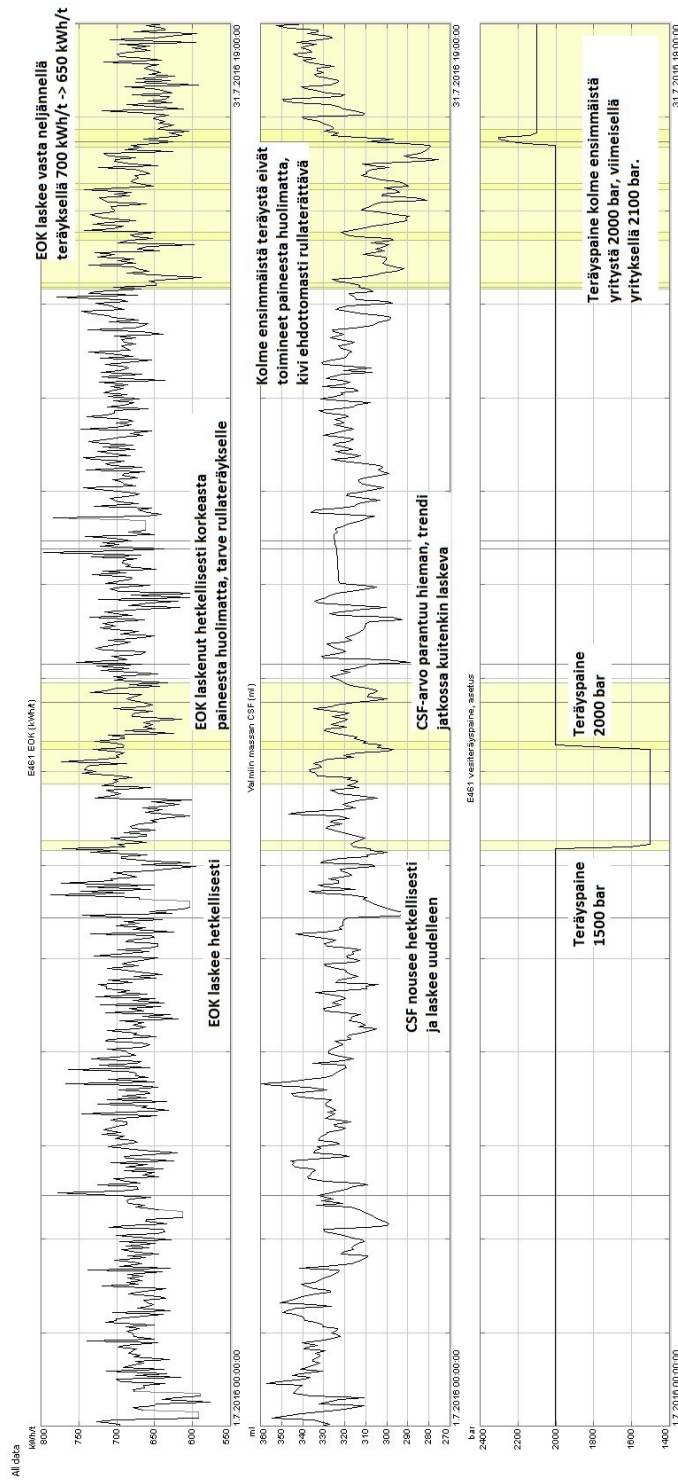
Hiomakone E452 vesiteräykset kesäkuussa 2016.



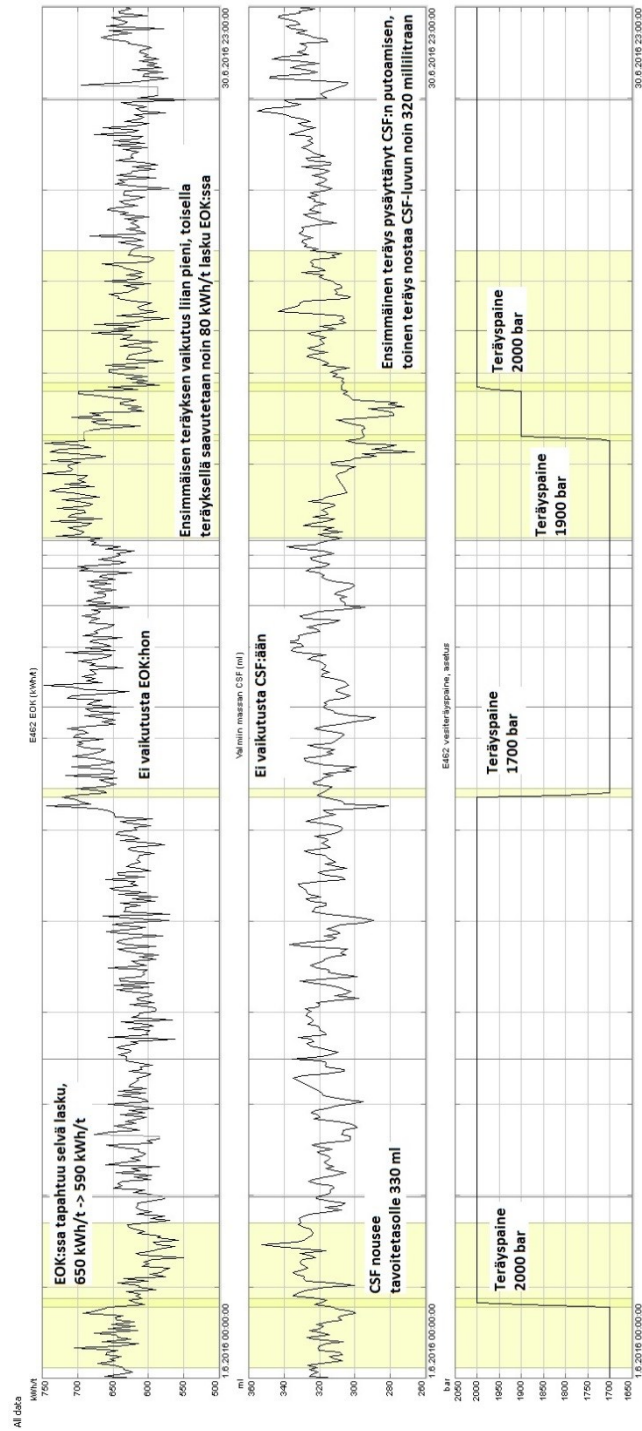
Hiomakone E452 vesiteräykset heinäkuussa 2016.



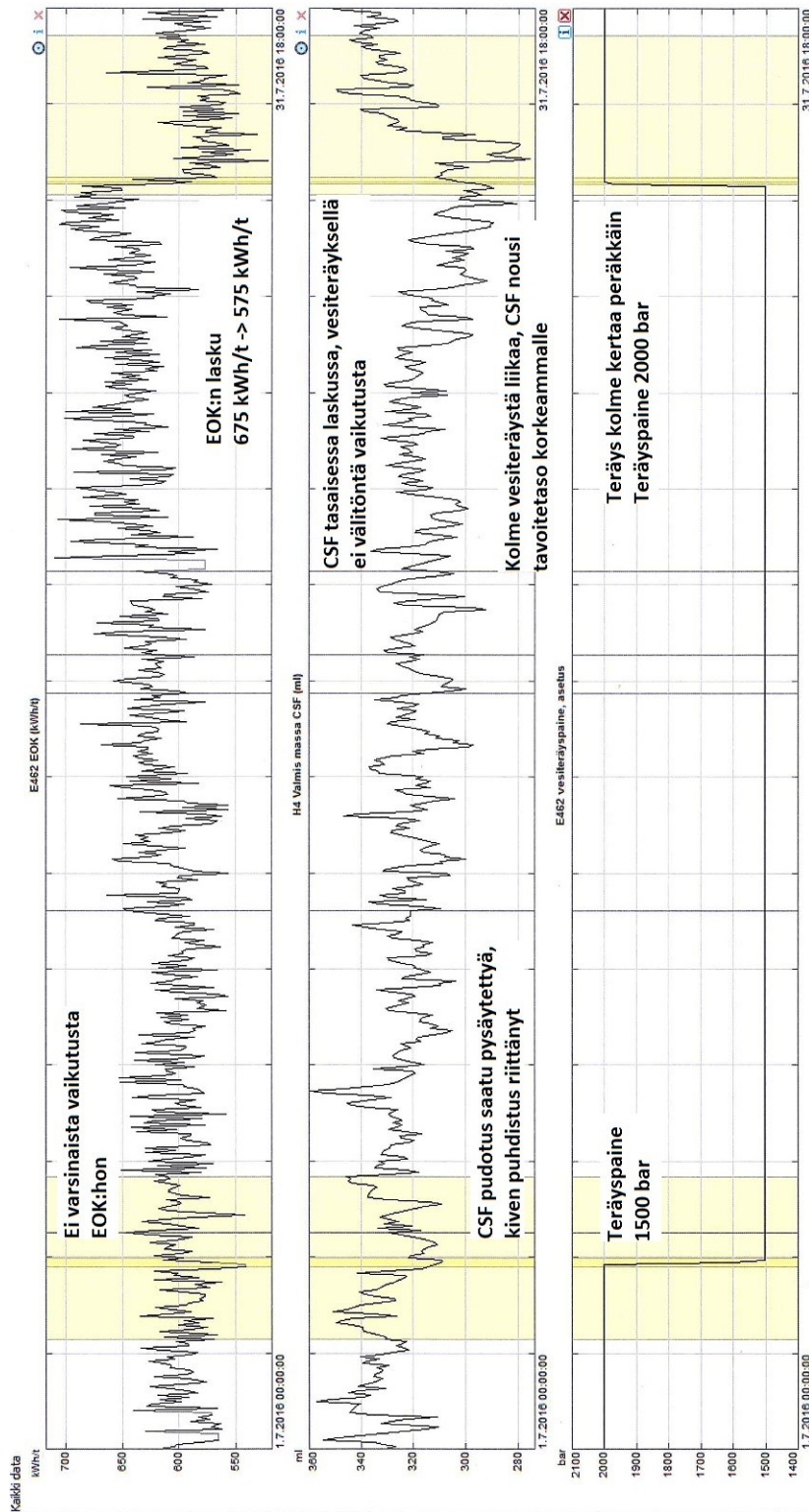
Hiomakone E461 vesiteräykset kesäkuussa 2016.



Hiomakone E461 vesiteräykset heinäkuussa 2016.



Hiomakone E462 vesiteräykset kesäkuussa 2016.



Hiomakone E462 vesiteräykset heinäkuussa 2016.

</